

Modelagem da Suscetibilidade a Deslizamentos em Taludes Infinitos e sua Relação com Processos Erosivos Laminares, por Meio de Técnicas de Geoprocessamento, na Bacia de Contribuição Direta da UHE Batalha

Landslide Susceptibility Modelling on Infinite Slopes and Relation to Laminar Erosion Processes, Using Geoprocessing Techniques, in the Direct Contribution Basin of Batalha Hydroelectric Power Plant

Glacielle Fernandes Medeiros¹; Patrícia de Araújo Romão²; Gislaíne Cristina Luiz³; Carlos Alberto Lauro Vargas⁴; Maurício Martines Sales⁵; Marta Pereira da Luz⁶; João Guilherme Rassi Almeida⁷

¹ Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós Graduação em Geografia/Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia/GO, Brasil. Email: glacielle.medeiros@ifs.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0501-4095>

² Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós Graduação em Geografia/Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia/GO, Brasil. Email: patricia_romao@ufg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3607-4373>

³ Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós Graduação em Geografia/Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia/GO, Brasil. Email: gislaine@ufg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3534-3700>

⁴ Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil/Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Goiânia/GO, Brasil. Email: carloslauro@ufg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4673-542X>

⁵ Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil/Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Goiânia/GO, Brasil. Email: mmartines@ufg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1331-3121>

⁶ Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial e Inteligência Artificial, Goiânia/GO, Brasil. Email: marta.eng@pucgoias.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-3299>

⁷ Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil/Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Goiânia/GO, Brasil. Email: jgmeioambiente@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0168-3344>

Resumo: Técnicas de análise de estabilidade de taludes aplicadas ao estudo de encostas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa permitem estimar as condições de estabilidade em áreas de relevo irregular. O conhecimento dos parâmetros morfológicos, pedológicos e físicos dos solos é fundamental, pois representam variáveis importantes na análise de estabilidade. Neste contexto, este estudo aplica técnicas de geoprocessamento, na escala de 1:25.000, para analisar a relação entre a estabilidade de taludes infinitos e a ocorrência de processos erosivos laminares na Bacia de Contribuição Direta (BCD) do reservatório da UHE Batalha. Deste modo, esta pesquisa tem por objetivo estimar um modelo preditivo de escorregamentos em vertentes naturais, com base no Fator de Segurança preliminar (FSp). Na metodologia aplicada, o FSp foi calculado pelo método de equilíbrio limite de vertentes infinitas, utilizando técnicas disponíveis em Sistema de Informação Geográfica. Observou-se que cenários com coesão zero e presença de pressão neutra influenciam negativamente os resultados do Fator de Segurança preliminar (FSp), aumentando a suscetibilidade a movimentos de massa. Além disso, verificou-se que os mapas de estabilidade são dinâmicos, sendo influenciados pela variação dos parâmetros de coesão e da pressão neutra, representando a sazonalidade local ou transição da época seca para época chuvosa e também a proximidade do reservatório das encostas da BCD.

Palavras-chave: Estabilidade Geotécnica; Estabilidade Hidráulica; Processos Erosivos

Abstract: In areas of irregular relief, slope stability analysis techniques can be applied to estimate safety conditions. The main variables in slope stability analysis include the morphological, pedological and soil physical parameters. In this context, this study applies geoprocessing techniques at a scale of 1:25,000 to analyse the relationship between the stability of infinite slopes and the occurrence of laminar erosion processes in the Direct Contribution Basin (DCB) of the Batalha HPP reservoir. The aim of this research is to estimate a predictive model for landslides on natural slopes, based on the Preliminary Safety Factor (PSF). The methodology was based on the limit equilibrium method for infinite slopes, using techniques available in Geographic Information Systems. Scenarios with zero cohesion and neutral pressure increased the susceptibility to mass movements, reducing the Preliminary Safety Factors. Due to the proximity of the reservoir to the slopes and considering the seasonality between the dry and wet seasons, there is constant variation in the parameters of cohesion and neutral pressure, resulting in maps with dynamic characteristics in the analysis of slope stability.

Keywords: Geotechnical Stability; Hydraulic Stability; Erosion Processes

Recebido: 11/03/2025; Aceito: 03/06/2025; Publicado: 17/06/2025.

1. Introdução

Ao construir uma usina hidrelétrica, uma série de impactos são gerados na área de inundação do reservatório, bem como em toda sua Bacia de Contribuição Direta (BCD). Elementos do ambiente que se localizavam na área inundada são alterados, afetando a biodiversidade local, bem como o ecossistema aquático e terrestre, dentre outros.

Dentre os impactos ambientais, a estabilidade de taludes ao longo de toda BCD deve ser investigada, uma vez que as condições de estabilidade em áreas de relevo irregular, como é o caso de encostas suscetíveis a movimento de massa gravitacional, podem acelerar os processos de assoreamento do reservatório.

Os processos de susceptibilidade de movimento de massa gravitacional podem ser avaliados a partir do estudo da estabilidade geotécnica de taludes. Dentre as variáveis a serem consideradas na análise de estabilidade, destacam-se as características geológicas locais e parâmetros geotécnicos dos solos ou rochas.

Nesse sentido, a susceptibilidade a movimentos de massa gravitacionais pode ser avaliada a partir do estudo da estabilidade geotécnica dos taludes sujeitos a tais movimentos.

A estabilidade de taludes em maciços terrosos e/ou rochosos pode ser estudada por diferentes métodos, dentre os quais, o método de equilíbrio limite é o mais utilizado. Sempre que um maciço apresenta um talude de grande extensão, de forma que a espessura do material sujeito ao escorregamento é pequena em relação à sua altura, o talude passa a ser denominado talude infinito, cuja superfície de ruptura é paralela ao talude.

A partir deste preâmbulo, considerando a área em estudo, foi realizada uma análise dos processos erosivos existentes, por meio de ensaios laboratoriais e da identificação de ocorrência de erosões laminares na BCD do reservatório supracitado. A ocorrência de feições erosivas laminares foi determinada por meio de inspeção visual de imagens do Google Earth, mantendo o controle da escala cartográfica de visualização.

Também foram levados em conta, os resultados da classificação da erodibilidade dos solos, baseada em ensaios indiretos, conforme o critério MCT, os quais incluem os testes de infiltrabilidade e perda de massa por imersão.

Para viabilizar todas as etapas deste estudo, procurou-se, aplicar técnicas de Sistema de Informação Geográfica para estimar um modelo preditivo determinístico de escorregamentos, considerando os taludes como vertentes naturais, a partir da avaliação do índice do Fator de Segurança, utilizando o método de equilíbrio limite de vertentes infinitas, na BCD do reservatório de Batalha.

2. Metodologia

No âmbito do projeto P&D Sedimentos (SALES *et al.*, 2020), no qual esta pesquisa se insere, foram compilados os parâmetros morfológicos (inclinação da vertente; tipos de vertentes); pedológicos e geotécnicos (espessura das camadas, peso específico, coesão, ângulo de atrito dos solos); além do levantamento da ocorrência de processos erosivos e de outros parâmetros, discutidos nos tópicos a seguir.

2.1. Parâmetros pedológicos e morfológicos

A base de dados utilizada para a elaboração do mapa de solos e de textura, foram desenvolvidos no âmbito do projeto P&D Sedimentos. Nesse processo, a escala foi ajustada para 1/25.000, com auxílio da utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDE), processado a partir do modelo NASADEM (ROMÃO *et al.* 2024).

O mapa de textura dos solos, necessário para estimar os parâmetros geotécnicos, elaborado por Romão *et al.* (2024), foi aprimorado neste estudo com base em novas análises táteis-visuais, classificações obtidas por meio do critério de Erodibilidade MCT (Miniatura Compactada Tropical) e do sistema de classificação unificada. Esses dados foram obtidos tanto em laboratório quanto em fontes bibliográficas referentes a pesquisas anteriores na mesma área de estudo.

Considerados entre os principais fatores que influenciam a ocorrência de escorregamentos, os parâmetros morfológicos, declividade e a orientação das vertentes, utilizados na modelagem do Fator de Segurança foram apresentados na tese desenvolvida por Medeiros (2025).

2.2. Espessura da Camada de solo (H)

O mapa de formas das vertentes representa a curvatura do relevo, indicando diferentes características do solo de acordo com o tipo de encosta. Segundo Augusto Filho (1988), encostas retilíneas tendem a apresentar solos mais rasos, enquanto as encostas côncavas estão associadas a solos de espessura intermediária. Já nas encostas convexas, é comum encontrar solos mais espessos e profundos.

Augusto Filho (1988) e Kozciak (2005) afirmam que a variação da espessura do solo em regiões de clima tropical se relaciona com a forma da encosta, deste modo, os autores optaram por aumentar a espessura do solo em 50% para áreas que apresentaram vertentes convexas. Para áreas com vertentes retilíneas, os autores atribuíram um decréscimo de 50% na espessura do solo, e, para as áreas cujas vertentes foram classificadas como côncavas, não atribuíram correções na espessura do solo.

A espessura da camada de solo foi determinada a partir da classificação disponibilizada pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da Embrapa (2018). Concluído o levantamento das classes de solos, a espessura “H”, foi gerada a partir das diretrizes apresentadas por Kozciak (2005).

Tabela 1: Espessura camada de Solo – UHE Batalha (m)

Solos	Espessura
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	1
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	1
GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico	0,4
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	1
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico	1
NEOSSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico gleissólico	0,5
NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico	0,5
PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico	2
PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplântico êndico	2

Fonte: Embrapa (2018). Organizado pelos autores

2.3. Parâmetros físicos e mecânico dos solos

Os parâmetros de coesão, ângulo de atrito e peso específico foram estimados a partir de revisões da literatura apresentadas na Tabela 2. Para que fosse possível a quantificação desses parâmetros, considerou-se a textura do solo disponibilizada junto ao banco de dados pedológico na escala de 1/25.000, elaborado no projeto P&D Sedimentos e apresentando por Romão *et al.* (2024). A textura do solo na escala de 1/25.000, de forma análoga aos dados de solos, foi aprimorado e detalhado usando os resultados referentes à classificação unificada e MCT, determinados a partir de ensaios laboratoriais.

Tabela 2: Coesão, ângulo de Atrito e peso específico conforme literatura

Textura	c' (kPa)	ϕ (°)	γ_d (kN/m ³)	Fonte	Textura	c' (kPa)	ϕ (°)	γ_d (kN/m ³)	Fonte
Areia	0,085	29,7	16	Cobbold et al. (2001)	Argila	37,6	30,7	17,1	Georgetti e Carminati (2022)
Areia	0,105	30		Bonini et al. (2000)	Argila	42	38		Morais (2017)
Areia	0,3	30,1	17,5	Krantz (1991)	Argila	28,81	51,09	-	Maicá et al (2022)
Areia	0,02	30,9	16,9	Gutscher et al. (1998)	Argila	30,55	51,87	-	Maicá et al (2022)
Areia	0,021	35,5	-	Panien et al. (2006)	Argila	89,8	7,17	13,1	Oliveira (2014)
Areia	0,0363	42,7	15,2	Gomes e Caldeira (2011)	Argila Arenosa	7,1	30,1	16,92	Kozociak (2005)
Areia	17,3	44,1		Vieira, Pereira e Lopes (2014)	Argila Arenosa	13,5	21,7	17,16	Kozociak (2005)
Areia	4,3	42	-	Silva et al. (2019)	argila arenosa	15	33	19	Rodrigues (2020)
Areia	16,3	37,6	-	Vieira et al. (2020)	Argila arenosa	19,8	17,9	-	Oliveira e Rodrigues (2020)
Areia	18	40,3	-	Vieira e Pereira (2022)	Argila arenosa	5,84	30,51	18,4	Borchardt (2005)
Areia	17,1	31,2		Georgetti e Carminati (2022)	Argila arenosa	15	30,5	16,8	Trevizolli et al (2017)
Areia	0	39,3	16,3	Oliveira (2014)	Argila Arenosa	69,97	13,58	14,3	Oliveira (2014)
Areia Argilosa	14	33	19	Silva (2017)	Argila Arenosiltora (inundada)	8,72	24,2	19,27	Magalhães (2013)
Areia Argilosa	18	36	18	Trevizolli et al (2017)	Argila Arenosiltora (inundada)	6,97	29,5	19,9	Magalhães (2013)
Areia Argilosa	38,76	26,84	15,6	Oliveira (2014)	Argila Arenosiltora (inundada)	3,3	35	19,04	Magalhães (2013)
Areia Argilosa	47,88	31,61	17,5	Oliveira (2014)	Argila Arenosiltora (natural)	27,39	25,7	16,93	Magalhães (2013)
Areia Siltosa	20	31	19,36	Machado (2022)	Argila Arenosiltora (natural)	35,08	28,1	19,13	Magalhães (2013)
Areia Siltosa	9,1	30,2	-	Schuch et al. (2019)	Argila Arenosiltora (natural)	13,76	36,5	16,29	Magalhães (2013)
Areia Siltosa	7,5	37,6	-	Oliveira e Rodriguez (2022)	Argila Siltosa	7,185	24,56	17,9	Borchardt (2005)
Areia Siltosa	4,2	38,9	-	Oliveira e Rodriguez (2022)	Argila Siltosa	13	21	19	Barbosa, Araújo e Ferreira (2019)
Areia Siltosa	10,4	26,4		Veloso et al (2021)	Argila Siltosa	29	16,5	17	Botelho et al (2016)
Areia siltosa	7,5	37,6	16,41	Oliveira e Rodrigues (2020)	Argila Siltosa	15	24,3	15	Botelho et al (2016)
Argila	107,48	35,16	-	Castro et al (2019)	Argila Siltosa	14,2	39,6	21	Botelho et al (2016)
Argila	80	27,3	16,1	Penha et al (2015)	Argila Siltosa	21,43	29,5	17,73	Santos, filho, Herrera (2019)
Argila	60,4	30,5	16,8	Júnior et al (2018)	Argila Siltosa	27,5	28	18	Pereira (2015)

A classificação dos solos quanto à resistência à erodibilidade foi definida por Medeiros (2025) a partir dos ensaios indiretos da erodibilidade pelo “Critério de Erodibilidade MCT”. Proposta inicialmente por Nogami e Villibor (1979 e 1995), a avaliação indireta da erodibilidade foi adaptada por outros pesquisadores que buscavam facilitar os métodos de ensaio (BASTOS, 1999; MATAMOROS SEVILLA, 2016). O Critério de Erodibilidade MCT apresentado por Nogami e Vilibor (1979) é essencialmente empírico, tendo como base dois parâmetros: a perda de massa por imersão modificada (π), que representa a erodibilidade específica, obtida pelo ensaio de erodibilidade específica, e o coeficiente de sorção (s) que representa a infiltrabilidade, obtido a partir do ensaio de infiltrabilidade.

2.4. Aplicação do método de equilíbrio limite para determinação do Fator de Segurança preliminar (FSp).

O Fator de Segurança, de acordo com Fiori e Carmignani (2009), é influenciado por diversos fatores. Este estudo baseou-se na teoria do equilíbrio limite para a condição de deslizamento de taludes infinitos, que considera a hipótese de equilíbrio em uma massa de solo rígido-plástico, na iminência de um processo de escorregamento (MASSAD, 2010).

Massad (2010) define taludes infinitos como taludes de encostas naturais caracterizados por sua grande extensão, de centenas de metros, e pela pequena espessura do manto de solo, geralmente com apenas alguns metros (Figura 1). Guerra (2015) acrescenta que a ruptura geralmente ocorre no contato entre materiais de diferentes resistências, resultando em um escorregamento translacional e paralelo à superfície.

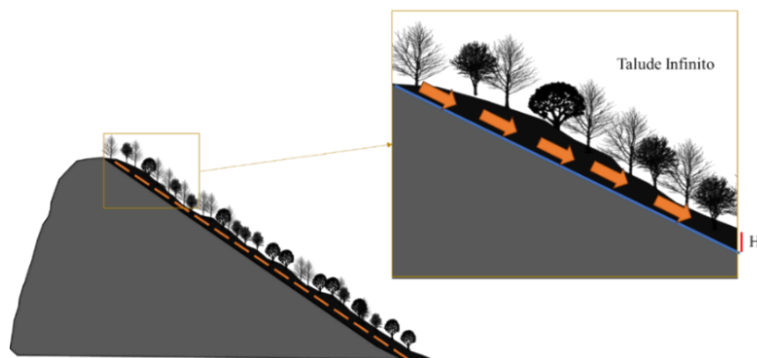


Figura 1: Superfície plana de ruptura em taludes de grande extensão
Fonte: Elaborado pelos autores

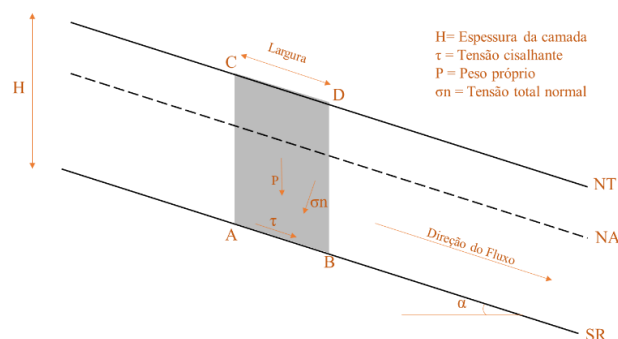


Figura 2: Representação esquemática de um talude infinito

Fonte: Adaptado de Massad (2010)

Gerscovich (2016), descreve escorregamentos translacionais como movimentos de massa que ocorrem ao longo de superfícies de ruptura planas, geralmente associadas a descontinuidades ou planos de fraqueza no solo ou na rocha, sendo comuns em mantos de colúvio de pequena espessura.

Ressalta-se que neste estudo foi adotada, por critério de segurança, uma espessura inicial máxima de 2 metro para os solos, mesmo naqueles que normalmente apresentam espessuras superiores, como é o caso dos solos maduros com perfis mais desenvolvidos. Essa escolha representa uma situação mais crítica e conservadora, por isso, optou-se por não utilizar os valores médios geralmente associados a essas classes de solo. Dessa forma, justifica-se a abordagem do estudo voltada ao escorregamento translacional e paralelo à superfície.

Fator de Segurança pode ser determinado a partir do critério de resistência, no qual considera-se as tensões atuantes na base de uma fatia vertical genérica ABCD (Figura 2) de largura unitária, admitindo para casos gerais um Nível de Água (NA) paralelo à Superfície de Ruptura (SR).

As condições de estabilidade são definidas pelo Fator de Segurança, que representa a razão entre as forças resistentes ao deslizamento e a resultante das forças solicitantes. A análise, fundamentada na teoria do equilíbrio limite, assume que as forças que promovem a ruptura estão precisamente equilibradas pelos esforços de resistência. Para o método de talude infinito e seguindo a Figura 2 o FS será:

$$FS = \frac{c' + (\gamma \cdot H \cdot \cos \alpha^2 - u) \cdot \tan \varphi'}{\gamma \cdot H \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad \text{Equação 1}$$

FS = fator de segurança;

c' = coesão efetiva do material superficial;

γ = peso específico do material superficial;

H = altura da camada de solo superficial;

α = inclinação do terreno;

φ' = ângulo de atrito interno;

u = pressão neutra.

Os parâmetros de resistência do solo (coesão e ângulo de atrito) foram estimados a partir da classificação pedológica do banco de dados associado a esta classificação, disponibilizados neste estudo. O peso específico não varia muito entre os diferentes solos, deste modo, o peso específico do material superficial adotado foi a média dos valores encontrados na literatura e apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores médios de Coesão e ângulo de Atrito conforme literatura

Textura	c' médio (kPa)	σ	c' Máxima (kPa)	ϕ' médio (°)	σ	ϕ' mínimo (°)	ϕ' máximo (°)	γ_d médio (kN/m ³)
Areia	0,203	7,900	8,103	36,550	5,308	31,242	41,858	16,300
Areia Argilosa	28,380	14,106	42,486	32,305	3,305	29,000	35,610	17,750
Areia Siltosa	8,300	4,947	13,247	34,300	4,659	29,641	38,959	17,885
Argila	51,200	27,855	79,055	32,930	13,307	19,623	46,237	16,450
Argila Arenosa	15,000	20,531	35,531	30,100	6,986	23,114	37,086	17,040
Argila Siltosa	15,000	7,447	22,447	24,560	6,773	17,787	31,333	17,900
Silte Argiloso	20,000	12,615	32,615	30,000	6,128	23,872	36,128	16,500

Fonte: Organizado pelos autores

É importante salientar sempre que, se o fator de segurança for maior que 1, isso indica que as forças de resistência superam as forças atuantes, mantendo, assim, o talude em equilíbrio. Por sua vez, valores de FS menores que 1 indicam que as forças atuantes excedem as de resistência, colocando o talude em desequilíbrio.

Por outro lado, o método de equilíbrio limite simplifica o problema ao considerar o solo como material rígido e o comportamento estático do deslizamento. Por tais motivos, o FS aceitável seria acima de 1,5 ou o FS especificado em norma específica da NBR 11682 (2009). Com base na estimativa dos parâmetros de resistência e nas possíveis variações em campo (variabilidade geotécnica dos parâmetros), foram adotados 6 (seis) cenários possíveis para análise do fator de segurança (Quadro 1).

Quadro 1: Cenários adotados para modelagem

Cenário	Parâmetros
I	Coesão média (c'med); Ângulo de atrito médio (θ' médio); Nível de água (NA=0)
II	Coesão média (c'med); Ângulo de atrito médio (θ' médio); Nível de água (NA=H)
III	Coesão mínima (c'min = 0); Ângulo de atrito médio (θ' med); Nível de água (NA=0)
IV	Coesão mínima (c'min = 0); Ângulo de atrito médio (θ' med); Nível de água (NA=H)
V	Coesão máxima (c'max); Ângulo de atrito mínimo (θ' min); Nível de água (NA=0)
VI	Coesão máxima (c'max); Ângulo de atrito mínimo (θ' min); Nível de água (NA=H)

Fonte: Autores

Neste estudo, buscando representar a pior condição possível, considerou-se a imersão total da camada de solo nos cenários II, IV e VI. Nessas condições, a espessura da camada de água (h_w) foi considerada equivalente à espessura da camada de solo (H), o que foi fundamental para a determinação da pressão neutra. Em contrapartida, nos cenários I, III e V, a modelagem foi realizada sem a presença de pressão neutra, ou seja, foi desconsiderada a influência de água na camada de solo. Deste modo, o estudo abordou tanto as condições de saturação máxima quanto aquelas sem influência da pressão neutra.

2.5. Modelagem do Fator de Segurança preliminar (FS_p) em ambiente SIG

Neste trabalho, não foram realizados ensaios laboratoriais para encontrar os parâmetros necessários para determinar o FS do talude infinito, sendo tais parâmetros estimados a partir do banco de dados disponível na Tabela 3. Por esse motivo, o FS calculado foi denominado Fator de Segurança preliminar (FS_p).

Para gerar o modelo FS_p da área em estudo, foi necessária a integração dos resultados obtidos a partir da caracterização do solo, dos produtos oriundos da análise morfológica e dos dados disponibilizados na literatura. O FS_p foi determinado por meio do modelo matemático apresentado na Equação 1, sendo a modelagem desenvolvida em ambiente SIG.

Millan (2015) classificou em quatro classes os resultados do Fator de Segurança (FS) em relação à suscetibilidade da área à ocorrência de escorregamentos translacionais.

A Tabela 4 apresenta a classificação dos FS e a classificação quanto à suscetibilidade da área adotada por Kozciak (2005) e ACEVEDO (2017). Uma nova classificação para o FSp composta por uma classe para FSp abaixo de 1,5 e uma segunda classe com FSp acima de 1,5, está sendo proposta neste trabalho (Tabela 5). Como indicado anteriormente, foi adotado FSp mínimo de 1,5 uma vez que o método de talude infinito é simplificado e os parâmetros são estimados. A intenção de escolher apenas duas classes é identificar com maior facilidade os setores que precisariam de um estudo mais detalhado de estabilidade com ensaios em laboratório com geometria certa.

Tabela 4: Classificação do Fator de Segurança segundo literatura

Classe	Intervalo	Classificação Valor do FS	Classificação Suscetibilidade da Área	Classificação Fator de Segurança Preliminar
1	< 1,0	Muito Instável	Muito Alta	Baixo
2	1,0 a 1,5	Instável	Alta	Médio
3	1,5 a 2,0	Estável	Moderada	Intermediário
4	> 2,0	Muito Estável	Baixa	Alto
Fonte: Modificado de		Kozciak (2005)	Millán (2015)	Acevedo (2017)

Organizado: Autores

Tabela 5: Classificação do Fator de Segurança

Classe	Intervalo	Classificação Valor do FS	Classificação Suscetibilidade da Área
1	< 1,5	Instável	Alta
2	> 1,5	Estável	Baixa

Organizado: Autores

3. Resultados e discussão

3.1. Modelagem Fator de Segurança preliminar (FSp)

No gráfico de FSp observado na Figura 3 é notória a ocorrência de áreas com FSp alto ($FS > 1,5$) em todos os cenários, indicando que as forças de resistência superam as forças atuantes, mantendo assim, o talude em equilíbrio na maior porção das áreas em estudo. A ocorrência de áreas com FSp baixo ($FS < 1,5$) foi identificada nos cenários I, II, III e IV.

Os cenários II e IV, apresentam as maiores proporções de áreas com FSp baixo ($FS < 1,5$). No cenário II, essas áreas correspondem a 3,6% de ocorrência. Já no cenário IV, os percentuais aumentaram para 7,5%.

Ao observar os cenários I, III e V, fica evidente a importância da pressão neutra na determinação do FSp. A ausência de água resulta em uma redução significativa das áreas com FSp baixo ($FS < 1,5$), chegando a 0% na BCD de Batalha. Esta redução deixa claro a importância da coesão dos solos na estabilidade de taludes.

Nos cenários V e VI, nota-se que 100% da área apresentou FSp Alto ($FS > 1,5$). Esse resultado mostra a importância do ângulo de atrito dos solos na estabilidade de taludes, demonstrando que, isoladamente, os parâmetros de coesão e presença de água não são suficientes para uma estimativa da estabilidade de uma área.

Conclui-se que, à medida que a coesão do solo aumenta, o FSp se torna mais otimista, resultando em uma maior concentração de áreas com FSp elevado ($FS > 1,5$) e menor suscetibilidade a escorregamentos translacionais. Esse comportamento está em concordância com os resultados apresentados por Acevedo (2017), que analisou diferentes condições na determinação do FSp.

Kozciak (2005) relacionou o estudo do FS com a resistência dos solos à erosão, identificando uma redução gradativa na resistência do solo à erosão após eventos de chuvas intensas. O autor observou que, ao considerar o solo seco, menos de 3% da área apresentou instabilidade. No entanto, ao considerar o solo saturado, notou que mais de 12% da área da bacia apresentou-se instável, com valores de FS inferiores a 1,5.

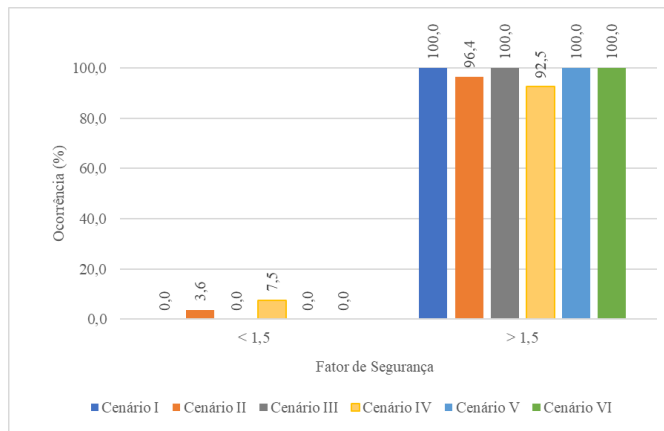


Figura 3: Distribuição do Fator de Segurança preliminar (FSp) da BCD de Batalha para os 6 cenários analisados, determinados a partir do número de pixel de cada cenário em relação ao total de pixel da bacia.

Fonte: Elaborado pelos autores

De encontro aos resultados deste estudo, Acevedo (2017) observou que, à medida que o índice de umidade do solo aumenta, as áreas com FSp baixo aumentaram e, por consequência, diminuíram as áreas de FSp alto.

Neste estudo, a partir dos cenários analisados, conclui-se que, à medida que o solo vai saturando, ocorre redução de áreas estáveis, com FSp acima de 1,5. Essa redução da estabilidade está diretamente relacionada à redução da resistência do solo à erosão e à estabilidade à ocorrência de escorregamentos translacionais, em virtude do aumento da pressão neutra. Além disso, observou-se que, para os casos estudados, efeito da saturação do solo provoca maior instabilidade aos taludes, quando comparada com a perda da coesão interna. Em outras palavras, a estação chuvosa desempenha um papel mais significativo na redução do FSp.

Além da determinação do FSp, foi possível estimar a suscetibilidade da área à ocorrência de escorregamentos translacionais a partir do FSp. Os cenários I e II, apresentados na Figura 4 e Figura 5, mostram que a presença de pressão neutra no cenário II reduziu os valores de FS, resultando no aumento da concentração de áreas com baixo FSp ($FS < 1,5$). Essa redução resulta em uma maior porcentagem de áreas suscetíveis à ocorrência de escorregamentos translacionais (Figura 4 b), quando comparada à porcentagem de áreas suscetíveis identificadas no cenário I (Figura 5 b).

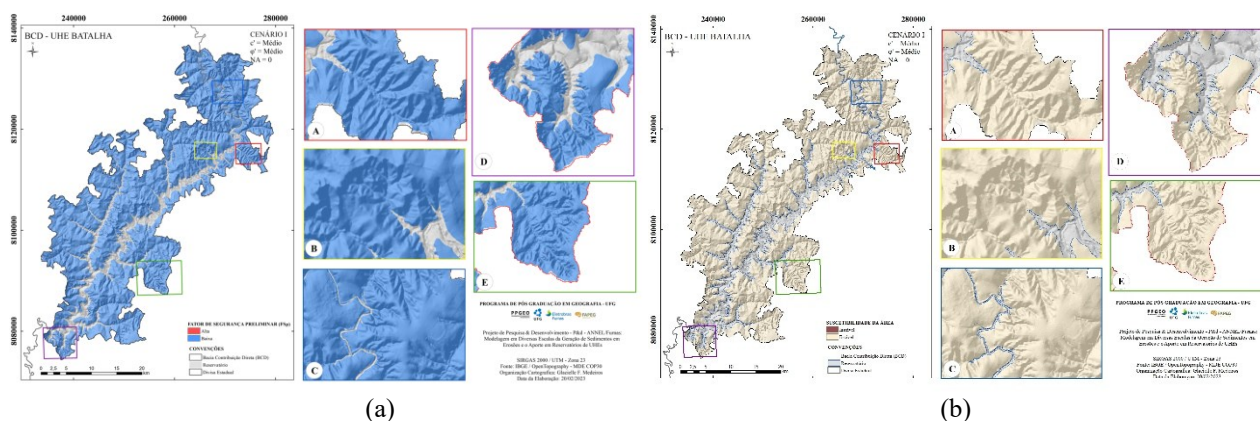


Figura 4: (a) Fator de Segurança preliminar (b) Suscetibilidade da área a partir do Fator de Segurança preliminar – cenário I - UHE Batalha

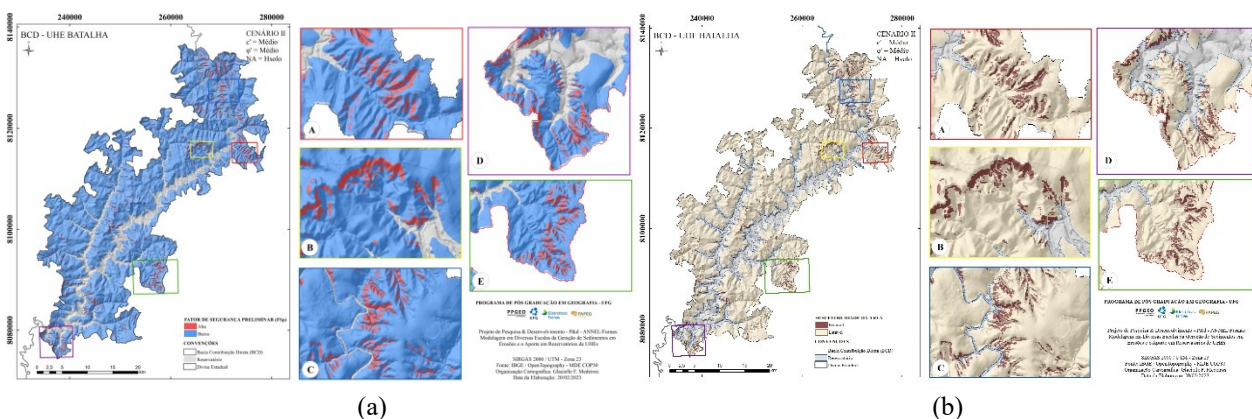


Figura 5: (a) Fator de Segurança preliminar (b) Suscetibilidade da área a partir do Fator de Segurança preliminar – cenário II - UHE Batalha

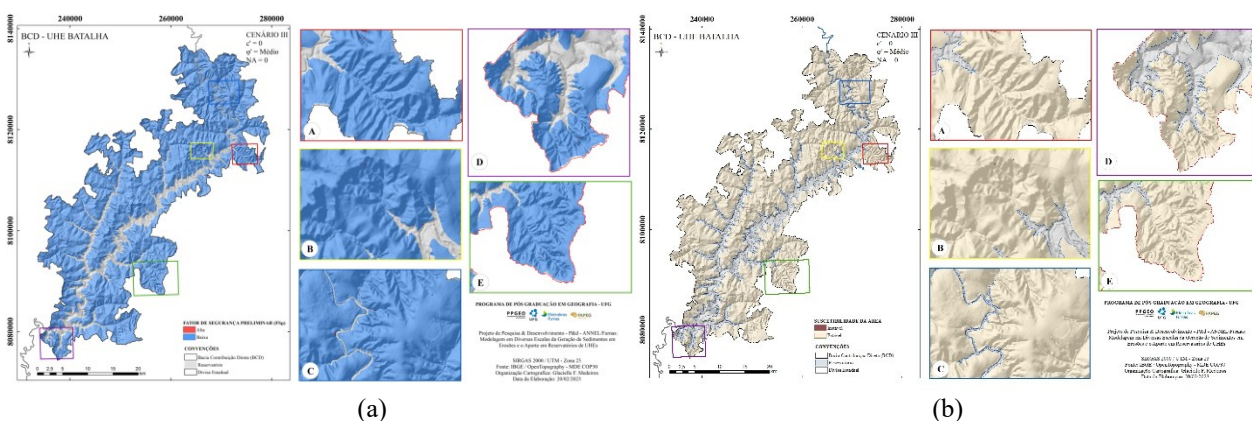


Figura 6: Fator de Segurança preliminar (b) Suscetibilidade da área a partir do Fator de Segurança preliminar – cenário III - UHE Batalha

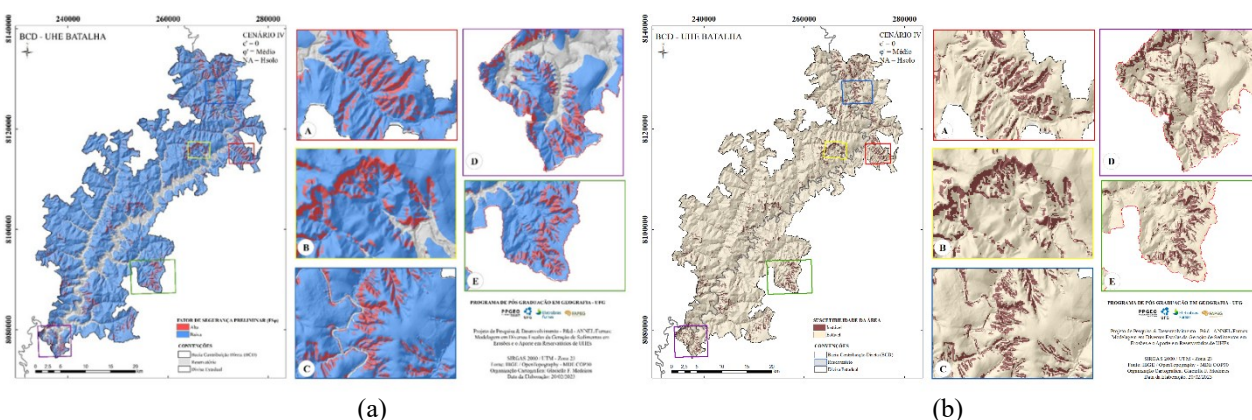


Figura 7: Fator de Segurança preliminar (b) Suscetibilidade da área a partir do Fator de Segurança preliminar – cenário IV - UHE Batalha

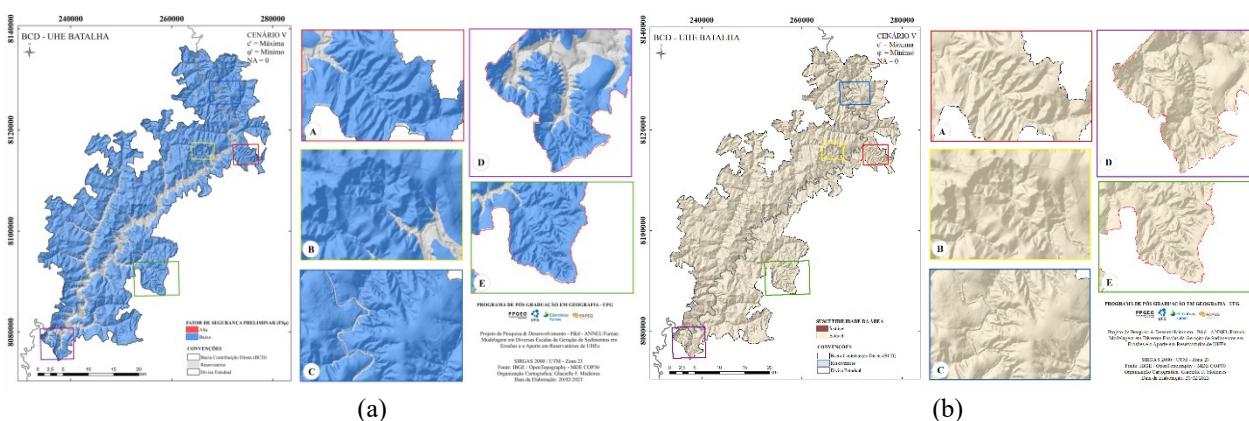


Figura 8: Fator de Segurança preliminar (b) Suscetibilidade da área a partir do Fator de Segurança preliminar – cenário V - UHE Batalha

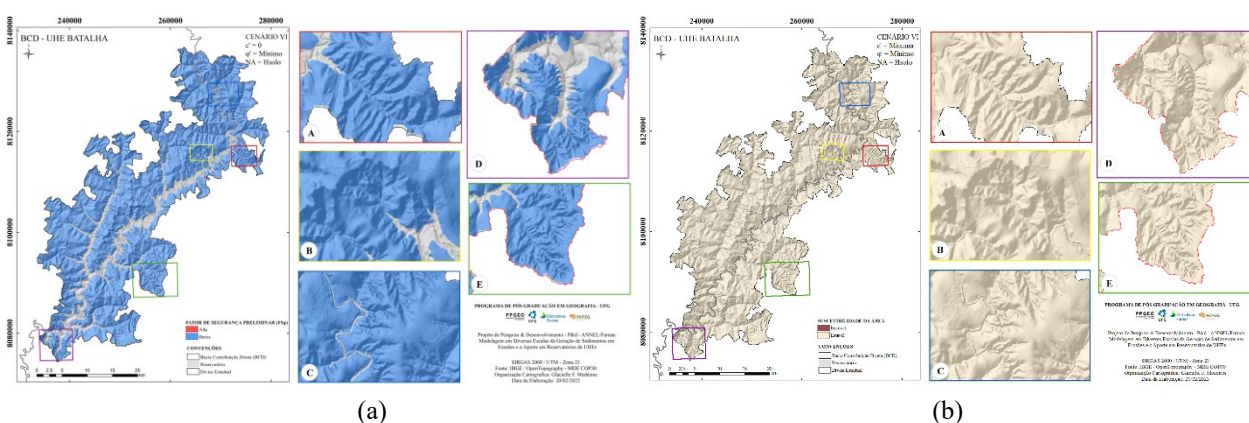


Figura 9: Fator de Segurança preliminar (b) Suscetibilidade da área a partir do Fator de Segurança preliminar – cenário VI - UHE Batalha

O cenário IV, apresentado na Figura 7, é possível perceber um aumento significativo nas áreas com maior risco de escorregamentos translacionais, especialmente quando comparado ao cenário III (Figura 6). Esse aumento se deve, principalmente, à ausência de coesão no solo e à presença de pressão neutra. Isso mostra que a coesão, sozinha, não é capaz de determinar se uma área é mais ou menos suscetível a deslizamentos. Esse resultado destaca, ainda, como o período chuvoso tem um papel essencial na diminuição do Fator de Segurança (FSp).

Comparando os cenários V e VI (Figura 8 e Figura 9) com os anteriores, o aumento das áreas com FSp alto ($IF > 1,5$) pode ser atribuído à adoção da coesão máxima.

A redução dos valores de ângulo de atrito, de médio para mínimo, associada aos parâmetros de coesão máxima, mostra aumento da estabilidade de taludes. Tanto nos cenários com presença da pressão neutra (Figura 9) quanto no cenário sem a presença de água (Figura 8), observa-se que praticamente 100% da área pode ser considerada estável, com FSp alto ($FS > 1,5$).

A forma da encosta é um fator que influencia diretamente a estabilidade da área, pois está associada à espessura da camada de solo. Medeiros (2025) apresenta mapas de curvatura vertical, espessura do solo relacionada à curvatura e declividade da área em estudo. Ao cruzar os produtos cartográficos gerados por Medeiros (2025) com os resultados deste trabalho, observa-se que as vertentes convexas predominam em áreas de média a baixa declividade, sendo caracterizadas por fatores de segurança mais baixos ($FS < 1,5$) nos cenários II e IV, o que indica maior instabilidade. Em contraste, as vertentes côncavas e retilíneas estão associadas a declividades mais suaves e a fatores de segurança mais elevados ($FS >$

1,5), caracterizando regiões mais estáveis, sendo a ocorrência de escorregamentos translacionais é praticamente inexistente nos cenários II e IV.

A análise desses resultados revela que existe uma relação entre a forma das encostas e a estabilidade geotécnica, considerando a espessura do solo e o comportamento do Fator de Segurança preliminar (FSp). Essa relação vai de encontro aos estudos feitos por Kozciak (2005), confirmando a influência geomorfológica no risco de deslizamentos.

Pode-se concluir a partir dos resultados apresentados que, em áreas com maior espessura de solo (relevo convexo), tem-se um aumento das tensões cisalhantes internas, especialmente em áreas de maiores declividades. A combinação de altas inclinações com camadas de solo espessas reduz o fator de segurança (FSp), indicando maior possibilidade de deslizamentos, como observado nos cenários analisados.

Por outro lado, foi possível observar que em relevos côncavos com menor espessura do solo, ao serem associadas às inclinações menores, reduzem a magnitude das forças atuantes, aumentando o FSp e minimizando a ocorrência de movimentos de massa, como deslizamentos translacionais.

3.2. Comparativo da Análise preliminar do Fator de Segurança preliminar (FSp) com ocorrência de processos erosivos laminares.

O cenário IV foi selecionado para a análise de ocorrência de processo erosivo laminar, uma vez que ele foi considerado o cenário mais crítico. Os resultados referentes aos ensaios do Critério de Erodibilidade MCT e a seleção de erosões laminares realizadas na área de estudo foram confrontados, permitindo assim estabelecer uma relação entre as áreas suscetíveis ao escorregamento translacional e a ocorrência de processos erosivos.

Segundo os estudos realizados por Paixão de Souza (2022) e Matamoros Sevilla (2016), das 20 amostras analisadas, 13 apresentaram características erodíveis, três foram consideradas tendencialmente erodíveis e quatro não demonstraram propensão à erosão.

Medeiros (2025) realizou ensaios em seis novas amostras de solo, coletadas ao longo da área em estudo, com o objetivo de complementar os resultados obtidos por Paixão de Souza (2022) e Matamoros Sevilla (2016). Todas as amostras analisadas por Medeiros (2025) foram classificadas como erodíveis.

No mapa apresentado na Figura 10, é possível observar a espacialização dos resultados do FSp, além da classificação dos ensaios de erodibilidade e a localização dos resultados dos ensaios de erodibilidade pelo critério MCT, bem como a localização das erosões laminares. Observa-se a partir deste que a maioria das amostras classificadas como “erodíveis” estão localizada em áreas de maior suscetibilidade ao escorregamento translacional, identificadas a partir do FSp.

Os resultados dos ensaios indiretos da erodibilidade, juntamente com a presença de erosões laminares, servem de parâmetros para uma validação preliminar do modelo do FSp.

O mesmo pode ser observado em relação à ocorrência de erosões laminares, onde é possível verificar expressiva ocorrência de erosões próximas ou dentro das áreas classificadas como de média a alta suscetibilidade.

Buscando correlacionar a ocorrência de erosões com áreas de maior suscetibilidade a movimento de massa, pode-se citar Santos Jr. *et al.* (2018), no qual os autores destacam que durante a ocorrência de chuvas de elevada intensidade, a água satura o depósito, o que provoca aumento das poro-pressões com consequente redução da resistência. A associação deste fator com as ações da força de percolação e do poder de erosão superficial em altas declividades pode deflagrar o processo de escoamento do depósito, em que, durante o escoamento superficial, ocorre o transporte de partículas do solo que são depositadas a jusante quando a velocidade do escoamento superficial é reduzida.

Observou-se neste estudo que, quanto menor a coesão do solo, maior a ocorrência de área com baixo FSp e, consequentemente, maior a ocorrência de áreas com maior suscetibilidade. De forma análoga à suscetibilidade da área a movimento translacional, a erosão laminar ocorre em função da perda de coesão superficial. À medida que os processos de erosão laminar removem a camada superficial do solo, a coesão superficial é perdida, e o solo exposto tende a se desagregar.

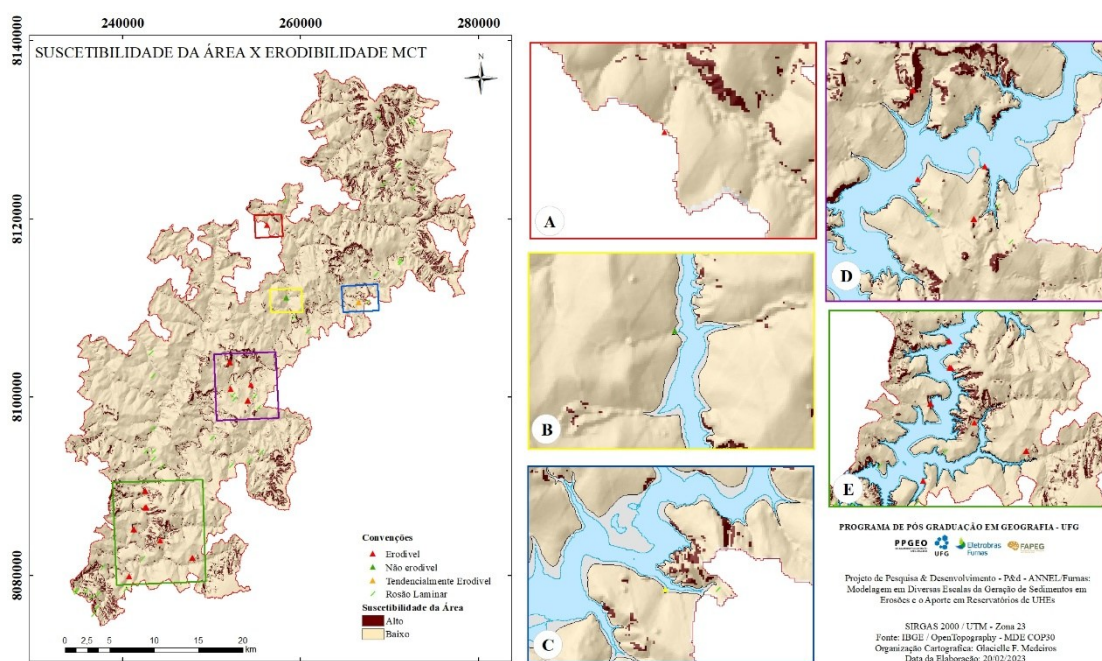


Figura 10: Índice do Fator de Segurança, classificação dos ensaios de erodibilidade e localização dos resultados MCT e das erosões laminares identificadas na BCD do reservatório de Batalha

4. Considerações finais

Concluída a distribuição espacial dos parâmetros morfológicos e FSp, verificou-se que áreas de maior suscetibilidade estão associadas a áreas de maior declividade.

A adoção do método determinístico para avaliação da estabilidade de vertentes permitiu estimar os graus de risco por meio de valor absoluto, a partir do cálculo do Índice do Fator de Segurança. O IFp relacionado com a classificação dos ensaios de erodibilidade permitiu identificar a relação das áreas críticas com a estabilidade das encostas.

A modelagem considerando a presença de pressão neutra mostra os efeitos dela na redução da resistência dos solos ao escorregamento. No cenário IV, ao considerar pressão neutra, observa-se um aumento de 27,10% nas áreas suscetíveis ao escorregamento em comparação ao cenário III, que foi modelado com os mesmos parâmetros de coesão e ângulo de atrito.

Os resultados do FSp destacam a influência da forma do relevo na estabilidade geotécnica, evidenciando que vertentes convexas, com maiores espessuras de solo e altas declividades, apresentam maior propensão a instabilidades em função da redução do Fator de Segurança (FSp), enquanto vertentes côncavas e retilíneas, caracterizadas por áreas de menor declividade, demonstram maior estabilidade e menor suscetibilidade a deslizamentos.

Quanto à comparação entre os resultados de estabilidade de escorregamentos translacionais e a ocorrência de processos erosivos laminares, nota-se uma significativa incidência de erosões próximas ou dentro das áreas classificadas como de média a alta suscetibilidade.

Concluiu-se neste estudo que o método de equilíbrio limite para taludes infinitos demonstrou ser eficaz na análise de estabilidade de taludes naturais, destacando-se como uma abordagem determinística com grande potencial preditivo e aplicabilidade em estudos regionais e locais.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem à Furnas Centrais Elétricas S.A. e à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), pela coordenação técnica e financiamento, no âmbito do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), intitulado “Modelagem em Diversas Escalas da Geração de Sedimentos em Erosões e o Aporte em Reservatórios de UHes”, P&D ANEEL Sedimentos, código ANEEL PD.0394-1705/2017.

Os autores também agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão de bolsa de pesquisa e de produtividade.

4. Referências

- ACEVEDO, A. M. G. *Simulação geológico-geotécnica para avaliação de estabilidade de taludes a partir de técnicas de geoprocessamento*. 2017. 245 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682:2009: *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S. *Programa Serra do Mar: carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande*. São Paulo: Instituto de Pesquisa e Tecnologia, 1988. 49 p.
- BARBOSA, Araújo Silva; ARAÚJO, Arthur Gomes D. de; FERREIRA, Sílvia Romero de Melo. Estimativa da capacidade de carga de um solo expansivo por métodos teóricos e com a utilização do penetrômetro dinâmico de Stolf. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 9., 2019, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: ABMS, 2019.
- BASTOS, Cezar Augusto Burkert. *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. 1999. 303 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BONINI, M.; SOKOUTIS, D.; MULUGETA, G.; KATRIVANOS, E. Modeling hanging wall accommodation above rigid thrust ramps. *Journal of Structural Geology*, v. 22, p. 1165-1179, 2000.
- BORCHARDT, N. *Diagnóstico geológico-geotécnico na estabilidade de vertentes do alto e médio curso da bacia do Rio Sagrado, PR*. 2005. 186 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- BOTELHO, A. F. C. M.; SILVA NETO, A. N.; MEDEIROS, J. R. B.; OLIVEIRA, J. T. R. Análise comparativa entre soluções para contenção, com muro de arrimo por gravidade e parede de contenção tipo Berlim definitiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 19., 2016, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: ABMS, 2016.
- CASTRO, C. E. N.; SILVA, R. R. F.; SANTOS, L. F.; MENDES, A. S.; LIMA, C. A. P.; FROTA, C. A. Comportamento mecânico de solo argiloso estabilizado com resíduo de vidro pulverizado em moinho de alta energia e de bolas. *Revista Matéria*, v.24, n.2, 2019
- COBBOLD, P. R.; DURAND, S.; MOURGUES, R. Sandbox modeling of thrust wedges with fluid-assisted detachments. *Tectonophysics*, v. 334, p. 245-258, 2001.
- EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

-
- FIORI, A. P.; CARMIGNIANI, L. *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas*. 2. ed. Curitiba: Editora UFPR, 2009. 602 p.
- GEORGETTI, G. B.; CARMINATI, N. Efeito da sucção na estabilidade de taludes de aterros com solos arenoso e argiloso. In: *XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2020*, Campinas, São Paulo, 2020. p. 1-10.
- GERSCOVICH, Denise M. S. *Estabilidade de taludes*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 192 p. ISBN 978-85-7975-241-4.
- GOMES, J. S. C.; CALDEIRA, J. N. M. As propriedades friccionais de areias de quartzo (natural e colorida): medidas efetuadas em experimentos físico-analógicos e em um ring-shear tester. *Geociências, Revista da Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 64, n. 3, p. 289-298, jul./set. 2011.
- GUERRA, U. G. Retroanálise de Rupturas de Taludes em Nova Friburgo – RJ. 2015. Tese (Mestrado) - Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- GUTSCHER, M.; KUKOWSKI, N.; MALAVIEILLE, J.; LALLEMAND, S. Material transfer in accretionary wedges from analysis of a systematic series of analog experiments. *Journal of Structural Geology*, v. 20, p. 407-416, 1998.
- KOZCIAD, Simone. *Análise determinística da estabilidade de vertentes na bacia do Rio Morumbi*. 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2005.
- KRANTZ, R. W. Measurements of friction coefficients and cohesion for faulting and fault reactivation in laboratory models using sand and sand mixtures. *Tectonophysics*, v. 188, p. 203-207, 1991.
- MAGALHÃES, J. S. L. A. *Estudo de estabilidade da encosta Alto do Padre Cícero no município de Camaragibe – PE*. 2013. Universidade Federal de Pernambuco, CTG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pernambuco, 2013.
- MAICÁ, V. M. O.; JESUS, G. G.; GIRARDI, B. M.; LASSEN, A.; BOCK, A. L. Análise da influência de raízes da gramínea elefante em solo argiloso através de ensaios de cisalhamento direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2022, Campinas, São Paulo. Anais [...]. Campinas: ABMS, 2022. p. 7738-7745.
- MASSAD, F. *Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- MASSAD, Faíçal. *Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- MEDEIROS, Glacielle Fernandes. *Contribuições metodológicas à modelagem cartográfica de erosões hídricas e de aporte de sedimentos em bordas de reservatórios: Batalha e Itumbiara (GO/MG)*. 2025. 213 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2025.

-
- METAMOROS SEVILLA, T. M. *Estudo de processos erosivos: Análise geotécnica de áreas degradadas no entorno do reservatório de Batalha GO/MG*. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- MILLAN, C. Y. S. *Avaliação da suscetibilidade das vertentes de um trecho da BR-376, entre os km 658+820 m e 660+690 m, PR*. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- MORAIS, J. J. O. (2017). *Caracterização geotécnica da expansividade de um solo argiloso do município de Paulista-PE*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (PPGEC-UFPE), Recife-PE, 127p.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, v. 19, n. 1, p. 196–199, 1979.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. *Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos*. São Paulo: Editora Vilibor, 1995. 240 p.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. I.; JUCÁ, J. F. T.; FERREIRA, J. A. Análise da resistência ao cisalhamento de misturas de solo argiloso com resíduos fibrosos da casca do coco (Cocos nucifera). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XIX, 2018, Salvador, BA. *Anais COBRAMSEG 2018*. Salvador: ABMS, 2018.
- OLIVEIRA, E. A. *Ensaio de arrancamento de geogrelha, utilizando um equipamento reduzido, em amostras de um solo típico da cidade de Manaus*. 2014. 222 f.: il. color.; 29 cm. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.
- OLIVEIRA, Evailton Arantes de. *Ensaio de arrancamento de geogrelha, utilizando um equipamento reduzido, em amostras de um solo típico da cidade de Manaus*. 2014. 222 f.: il. color.; 29 cm. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.
- OLIVEIRA, N. A. C.; RODRIGUES, T. T. Influência da resistência à tração na determinação de parâmetros de resistência de um solo arenoso e de um solo argiloso. In: *XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2020*, Campinas, São Paulo, 2020. p. 1-10.
- PAIXÃO DE SOUZA, M. Levantamento dos fatores condicionantes e deflagradores para o desenvolvimento dos processos erosivos na borda do reservatório da UHE de Batalha (GO/MG). 2022. 182 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- PANIEN, M.; SCHREURS, G.; PFIFFNER, A. Mechanical behaviour of granular materials used in analogue modeling: insights from grain characterization, ringshear tests and analogue experiments. *Journal of Structural Geology*, v. 28, p. 1710-1724, 2006

- PENHA, M. J. A. Z.; JUNIOR, J. L. F.; BISCONSINI, D. R.; SERAPHUM, L. A. Estudo Da Resistência Ao Cisalhamento Na Interface Geotêxtil Não Tecido - Solo Argiloso. In: *44ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)*, Foz do Iguaçu-PR. 2015.
- PEREIRA, Armando Belato. Análise da influência da inclinação dos grampos no aumento da estabilidade global de talude idealizado contido em solo grampeado. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 8., 2015. São Paulo: ABMS, 2015.
- REIS, Antonio Felipe de Souza Machado. *Análise do comportamento mecânico de um solo reforçado com fibra de coco*. 2022. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.
- ROMÃO, P. A.; NASCIMENTO, P. A.; SILVA, I. S. *Aplicação do método de detalhamento progressivo em mapeamento de cobertura e uso da terra no entorno de reservatórios: estudo de caso para a UHE Itumbiara*. In: SALES, M. M.; LUZ, M. P.; MASCARENHA, M. M. A.; CARVALHO, J. C.; SILVA, V. D. (Orgs.). *Erosão hídrica e dinâmica dos sedimentos em reservatórios*. 1. ed. Goiânia: Escola de Engenharia Civil e Ambiental, 2024. p. 201-220. ISBN 978-65-5447-245-6.
- SALES, Maurício Martines (Responsável); GITIRANA JUNIOR, Gilson de Farias Neves; MASCARENHA, Márcia Maria dos Anjos; ANGELIM, Renato Resende; et al. *Modelagem em diversas escalas da geração de sedimentos em erosões e o aporte em reservatórios de UHE - P&D Sedimento*. Projeto de pesquisa em andamento desde 01 jul. 2020. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <https://sucupira.legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/projetoPesquisa/viewProjetoPesquisa.xhtml?popup=true&idProjeto=625602>. Acesso em: 25 maio 2025.
- SANTOS JR., Olavo Francisco dos; SILVA, William de Souza e; SCUDELARI, Ada Cristina; AMARAL, Ricardo Farias do. Estudo do mecanismo de recuo das falésias entre Tibau do Sul e Pipa - RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2018, Rio de Janeiro. *Anais...* Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/154/480.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- SANTOS, S. L. M; F; SILVA FILHO, E. P.; HERRERA, I. L. I. E. Deslizamento em Uma Vertente do Rio Madeira em Porto Velho – RO: Uma Análise Morfomecânica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Revista Brasileira de Geografia Física v.12, n.05 (2019) 1980-1995.
- SCHUCH, F. S.; SILVA, F. K.; BELEN, M. M.; SILVA, A. K. S.; SANTOS, T. M.; FERREIRA, M. E. A. Areia siltosa melhorada com fibra de polietileno tereftalato aleatoriamente distribuída: ganhos de resistência ao cisalhamento e à compressão uniaxial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 17., 2019, Salvador. *Anais do 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Salvador: ABGE, 2019. p. 1-11.
- SILVA, Breno Tavares da; SILVINO, Guttemberg da Silva; FARIAS, Aramis de Albuquerque. Use of geotechnologies in the aggradation study of the Vaca Brava Weir. *Revista Multidisciplinar em Psicologia*, v. 11, n. 37, p. 513-523, 2017. ISSN 1981-1179.

-
- SILVA, M. V.; REZENDE, L. R.; MASCARENHA, M. M. A.; OLIVEIRA, R. B. Phosphogypsum, tropical soil and cement mixtures for asphalt pavements under wet and dry environmental conditions. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 144, p. 123-136, 2019.
- TREVIZOLLI, Marina Naim Brock; KORMANN, Alessander Christopher Morales; FARO, Vitor Pereira; SESTREM, Liamara Paglia; PASSINI, Larissa de Brum; TEIXEIRA, Sidnei Helder Cardoso. Gestão de riscos rodoviários: avaliações paramétricas da poropressão e de resistência na estabilidade de um talude da Serra do Mar PR/SC. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS – COBRAE, 12., 2017, Florianópolis. *Anais da XII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – COBRAE 2017*. Florianópolis: ABMS, 2017. p. 1-9.
- VELOSO, L. V. S.; CASAGRANDE, M. M. L. Avaliação Do Comportamento Mecânico E Aplicabilidade De Materiais Alternativos Como Novos Materiais Geotênicos. Análise Do Comportamento Mecânico De Uma Areia Siltosa Reforçada Com Fibras De Curauá (*Ananas Erectifolius*). In: 4º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade (CONRESOL), Gramado, RS, 2021. p. 1-8.
- VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P. M. Influence of the geosynthetic type and compaction conditions on the pullout behaviour of geosynthetics embedded in recycled construction and demolition materials. *Sustainability*, v. 14, n. 3, 2022.
- VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P. P.; LOPES, M. L. Behaviour of geogrid-recycled construction and demolition waste interfaces in direct shear mode. In: 10th International Conference on Geosynthetics, 2014, Berlim, Alemanha.
- VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P.; FERREIRA, F.; LOPES, M. L. Pullout behaviour of geogrids embedded in a recycled construction and demolition material: effects of specimen size and displacement rate. *Sustainability*, v. 12, n. 9, 2020.