

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**

**Instituto de Ciências Agrárias**

**Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental**

**Letícia Dias Lopes**

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDE NA CIDADE DE UNAÍ/MG**

**Unaí**

**2024**

**Letícia Dias Lopes**

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDE NA CIDADE DE UNAÍ/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dra. Hellen Pinto Ferreira Deckers

**Unaí  
2024**

**Letícia Dias Lopes**

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDE NA CIDADE DE UNAÍ/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dra. Hellen Pinto Ferreira Deckers

Data de aprovação \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

---

Prof. Dr. Angelo Danilo Faceto  
Instituto de Ciências Agrárias – UFVJM

---

Prof. Dr. Marcelo Bastos Cordeiro  
Instituto de Ciências Agrárias – UFVJM

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Hellen Pinto Ferreira Deckers  
Instituto de Ciências Agrárias – UFVJM

**Unaí**

**2024**

A todas as pessoas que foram uma fonte de inspiração durante minha jornada, que suas hist3rias sigam iluminando minha trajet3ria.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão pelo apoio incondicional de toda a minha família, especialmente à minha mãe, Sônia Maria, ao meu pai, Donizete Lopes, e aos meus irmãos, Camila Dias, Mateus Lucas e Lorrany Dias. Eles confiaram em todo o meu processo, e sempre me motivaram ao longo dos anos, e não mediram esforços para me ajudar.

À ilustre figura do Professor Geraldo Magela Cruz, cuja constante motivação, desde o Ensino Fundamental foi essencial para que eu mantivesse o foco ao longo de minha trajetória na faculdade. Ele foi quem reconheceu meu potencial antes mesmo de eu percebê-lo.

A minha orientadora, Dra. Hellen Pinto Ferreira Deckers, pela dedicação, disposição e paciência. Sua transmissão clara de conhecimentos e sua tranquilidade tornaram esta etapa desafiadora mais tranquila e menos árdua.

A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e a todos os professores e técnicos que contribuíram para minha formação. O suporte e a dedicação de cada um foram essenciais para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Através do conhecimento compartilhado, das orientações e do incentivo, pude enfrentar os desafios da minha jornada acadêmica com confiança. Agradeço por terem sempre estado disponíveis para esclarecer dúvidas e por promoverem um ambiente de aprendizado tão enriquecedor. A experiência vivida na UFVJM foi fundamental para moldar meu futuro.

Aos meus amigos e colegas que estiveram sempre ao meu lado, prontos para me ajudar sempre que necessário, em especial Henrique Lopes, Luana Raiza e Tassio Ferreira.

E por fim, foram muitas pessoas que estiveram ao meu lado durante essa etapa, e gostaria de agradecer a todos pelas palavras de motivação. Essas mensagens foram fundamentais em vários momentos, contribuindo para que eu chegasse até aqui.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a estabilidade de um talude localizado na cidade de Unaí, Minas Gerais, utilizando os métodos de Fellenius e Bishop Simplificado. O estudo aborda a caracterização do solo da região, predominantemente composto por argila siltosa pouco arenosa, e as condições geométricas do talude, cuja inclinação e dimensões afetam diretamente sua estabilidade. A partir da aplicação dos métodos citados, foram calculados os Fatores de Segurança (FS), e identificou-se que o método de Bishop oferece maior precisão devido à consideração das interações entre as fatias de solo. Além disso, o trabalho recomenda o uso de vegetação, especificamente a vegetação nativa do Cerrado, como medida de estabilização do talude e prevenção da erosão. Os resultados indicam que taludes com inclinações mais suaves são mais estáveis, enquanto inclinações acentuadas necessitam de intervenções adicionais para evitar deslizamentos. A comparação entre os métodos de cálculo demonstrou a relevância de utilizar diferentes abordagens para garantir a segurança de taludes em condições críticas.

**Palavras chave:** estabilidade de talude; método de Fellenius; método de Bishop; Fator de Segurança; vegetação nativa.

## ABSTRACT

This study aims to analyze the stability of a slope located in the city of Unaí, Minas Gerais, using the Fellenius and Simplified Bishop methods. The research focuses on characterizing the soil in the region, predominantly composed of silty clay with low sand content, and assessing the geometric conditions of the slope, where its inclination and dimensions directly affect stability. By applying these methods, Safety Factors (SF) were calculated, and it was determined that the Bishop method provides greater accuracy due to its consideration of interactions between soil slices. Furthermore, the study recommends employing vegetation, particularly native Cerrado vegetation, as a stabilization measure to prevent erosion. The results suggest that slopes with gentler inclinations are more stable, whereas steeper slopes require additional interventions to prevent landslides. The comparison of calculation methods underscores the importance of employing different approaches to ensure slope safety under critical conditions.

**Keywords:** slope stability; Fellenius method; Bishop method. Safety Factors; native vegetation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Talude Natural.....	15
Figura 2 –	Talude Artificial.....	16
Figura 3 –	Método das Fatias.....	20
Figura 4 –	Localização da Área do Talude em Estudo no Município de Unaí/MG.....	23
Figura 5 –	Indicação da Erosão Superficial e Distribuição da Vegetação no Talude Analisado.....	24
Figura 6 –	Presença de Sulco Profundo na Área de Estudo.....	24
Figura 7 –	Dimensões do Talude.....	25
Figura 8 –	Perfil do Talude Referenciado em Porções Circulares.....	26
Figura 9 –	Talude Dividido em Lamelas por Referencias do Ponto 1.....	27
Figura 10 –	Talude Dividido em Lamelas por Referencias do Ponto 2.....	27
Figura 11 –	Talude Dividido em Lamelas por Referencias do Ponto 3.....	28
Figura 12 –	Talude Dividido em Lamelas por Referencias do Ponto 4.....	28



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Tipos Básicos de Movimentos de Massa .....	17
Tabela 2 –	Fatores de Segurança Mínimo Recomendados para Deslizamentos.....	18
Tabela 3 –	Coordenadas, Raios e Quadrados dos Raios Utilizados para a Geração da Geometria do Talude no AutoCAD.....	29
Tabela 4 –	Relatório Tabela de Parâmetros Médios do Solo.....	30
Tabela 5 –	Fator de Segurança do Ponto 1 pelo Método de Fellenius.....	31
Tabela 6 –	Fator de Segurança do Ponto 1 pelo Método de Bishop.....	32
Tabela 7 –	Fator de Segurança do Ponto 2 pelo Método de Fellenius.....	32
Tabela 8 –	Fator de Segurança do Ponto 2 pelo Método de Bishop.....	33
Tabela 9 –	Fator de Segurança do Ponto 3 pelo Método de Fellenius.....	33
Tabela 10 –	Fator de Segurança do Ponto 3 pelo Método de Bishop.....	34
Tabela 11 –	Fator de Segurança do Ponto 4 pelo Método de Fellenius.....	34
Tabela 12 –	Fator de Segurança do Ponto 4 pelo Método de Bishop.....	35

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FS	Fator de Segurança
NBR	Norma Brasileira Registrada

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\gamma$  Peso específico (kN/m<sup>3</sup>)  
C' Tensão de coesão (kPa)  
 $\phi$  Ângulo de atrito (graus)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	14
2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	14
<b>3</b>	<b>REVISÃO LITERARIA.....</b>	<b>15</b>
3.1	<i>Estabilidade dos taludes.....</i>	15
3.2	<i>Movimento de massa.....</i>	16
3.3	<i>Métodos de cálculo de estabilidade de taludes.....</i>	17
3.4	<i>Método de equilíbrio limite.....</i>	18
3.5	<i>Fator de segurança.....</i>	18
3.5.1	<i>Método de Fellenius.....</i>	19
3.5.2	<i>Método Bishop simplificado.....</i>	20
3.5.3	<i>Comparação entre os métodos de Fellenius e Bishop.....</i>	21
3.6	<i>Importância da vegetação.....</i>	22
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
4.1	<i>Caracterização da área de estudo.....</i>	22
4.2	<i>Determinação das coordenadas dos pontos de referência no modelo geométrico.....</i>	25
4.3	<i>Propriedades físicas do solo.....</i>	29
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
5.1	<i>Análise de estabilidade do ponto 1.....</i>	31
5.2	<i>Análise de estabilidade do ponto 2.....</i>	32
5.3	<i>Análise de estabilidade do ponto 3.....</i>	33
5.4	<i>Análise de estabilidade do ponto 4.....</i>	34
5.5	<i>Relação entre as dimensões do talude e o FS.....</i>	35
5.5.1	<i>Análise do ponto 1 (X = 4,60 m, Y = 4,60 m): inclinação moderada e condição marginal.....</i>	36
5.5.2	<i>Análise do ponto 2 (X = 3,60 m, Y = 5,60 m): inclinação acentuada e estabilidade satisfatória.....</i>	36
5.5.3	<i>Análise do ponto 3 (X = 5,60 m, Y = 6,60 m): inclinação moderada e risco potencial.....</i>	36

5.5.4	<i>Análise do ponto 4 (<math>X = 2,60\text{ m}</math>, <math>Y = 7,60\text{ m}</math>): inclinação íngreme e alta estabilidade.....</i>	36
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	37
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	37

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Tavares (2019), o solo desempenha um papel fundamental na engenharia, tanto como material de construção quanto como fundação para diversas obras. Na geotecnia, seus parâmetros e processos associados são estudados de forma abrangente, pois influenciam diretamente a estabilidade e a segurança das estruturas. Ao longo do tempo, o solo sofre alterações resultantes de processos geomorfológicos, frequentemente relacionados a fenômenos erosivos.

De acordo com Siqueira (2023), taludes são superfícies inclinadas compostas por solo ou rocha e podem ser classificados em duas categorias: naturais e artificiais. Uma condição que torna os taludes particularmente propensos à instabilidade é o desnível no terreno. A inclinação dessas estruturas as torna vulneráveis à ação contínua da gravidade, que provoca o movimento do solo em direção à base do talude. Em alguns casos, somam-se a essas forças as da percolação da água, que também contribuem para esse deslocamento descendente. Esse potencial de movimentação do solo representa um desafio significativo, demandando uma análise detalhada e um planejamento cuidadoso para garantir a estabilidade e segurança das estruturas e das áreas circundantes.

Deslizamentos de taludes é uma ocorrência comum no Brasil, resultando frequentemente em devastação significativa e enormes prejuízos econômicos, incluindo perdas de vidas humanas. Esses eventos reforçam a importância crucial do estudo da estabilidade de taludes. Tal avaliação não apenas amplia a segurança e a economia, mas também reforça a confiabilidade no uso do solo (Rodrigues *et al.*, 2023).

Conforme indicado por Silva (2011), a maioria dos métodos para a avaliação da estabilidade de taludes se fundamenta na Teoria do Equilíbrio Limite, que permanece como uma técnica bastante popular. Entre as diversas metodologias, o método de Fellenius se destaca pela sua praticidade e simplicidade, ao calcular o fator de segurança através de uma solução linear, o que dispensa métodos iterativos e torna a análise mais simples. Outro método frequentemente empregado é o de Bishop Simplificado, que também é valorizado por sua precisão e facilidade de uso em comparação ao método de Fellenius. Este último é particularmente eficaz na análise de estabilidade de taludes rotacionais, pois facilita a determinação de fatores de segurança em solos homogêneos (Carvalho *et al.*, 1991).

A crescente necessidade de ocupar novos espaços e desenvolver infraestruturas, impulsionada pelo aumento populacional e pelas demandas da sociedade moderna, desde o início do século 20, resultou em uma série de estudos voltados ao desenvolvimento de métodos para avaliar a resistência e a estabilidade dos taludes (Silva, 2011).

No contexto do crescimento da cidade de Unaí/MG, o uso de áreas de risco, como encostas e beiras de serra, tornou-se comum. Em muitos casos, as construções são realizadas sem o cumprimento dos critérios técnicos mínimos, o que agrava a instabilidade do terreno e aumenta os riscos de erosão. Diante disso, se vê a necessidade de aplicar os métodos desenvolvidos para analisar os problemas de erosão e instabilidade visíveis na região, buscando soluções adequadas para a mitigação desses riscos.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a estabilidade de um talude em Unaí/MG utilizando os métodos de Fellenius e Bishop Simplificado para calcular o fator de segurança (FS). Além disso, avalia-se se a vegetação nativa do Cerrado é adequada para garantir a estabilidade do solo e reduzir a erosão.

## **2 OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivo geral***

Analisar a estabilidade de um talude em uma área específica do município de Unaí/MG, utilizando, para isso os métodos de Fellenius e Bishop, a fim de determinar os FS e avaliar a influência da vegetação presente na estabilidade do solo.

### ***2.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar os parâmetros do solo na área de estudo, considerando a composição e comportamento do solo local.
- Aplicar o método de Fellenius para calcular o FS do talude selecionado.
- Aplicar o método de Bishop para calcular o FS e comparar os resultados com o método de Fellenius.
- Demonstrar como a vegetação nativa do Cerrado contribui para a estabilização de taludes.

### 3 REVISÃO LITERARIA

#### 3.1 Estabilidade dos taludes

Taludes podem ser classificados como naturais ou artificiais segundo a ABNT NBR 11682 (2009). Os *naturais* (Figura 1) são superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), originados de diversos processos geológicos, como a composição das rochas, as estruturas do terreno e a modelagem do relevo, além de fatores ambientais, como o clima, a vegetação e a topografia; mas quando se rompe, parecem que escorregam ao longo de uma linha curva. Já os *artificiais* (Figura 2) resultam da intervenção humana, sendo desenvolvidos para aplicações como contenção de água, armazenamento de rejeitos de mineração ou alteração do curso de rios e outros corpos d'água, sendo que quando se rompem, parecem que escorregam ao longo de uma linha reta. Essa classificação é fundamental para entender as diferentes dinâmicas e desafios associados à estabilidade dos taludes, conforme apontam Neto e Freitas (2020).

**Figura 1** – Talude Natural.



**Fonte:** Oficina de Textos, 2022.



**Figura 2** – Talude Artificial.






**Fonte:** Oficina de Textos, 2022.

Siqueira (2023) destaca que a instabilidade de taludes, que resulta em rupturas e deslizamentos, geralmente ocorre devido a esforços de cisalhamento. A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser entendida como a tensão máxima que o solo suporta sem se romper. Nesse contexto, Terzaghi (1950) complementa que as causas dos deslizamentos de terra podem ser classificadas em externas e internas. As causas externas são aquelas que aumentam as tensões de cisalhamento sem alterar a resistência ao cisalhamento do material na encosta, como a elevação da encosta por erosão fluvial, escavação artificial, deposição de material no topo ou choques sísmicos. Quando uma causa externa provoca um deslizamento, conclui-se que as tensões de cisalhamento superaram o ponto de falha. Já as causas internas envolvem uma falha sem mudanças na superfície ou choques sísmicos, sugerindo que a resistência ao cisalhamento do solo diminuiu, normalmente devido ao aumento da pressão de água nos poros ou à perda progressiva da coesão do material. Existem também deslizamentos que resultam de fatores intermediários, como o rápido rebaixamento do nível d'água, a erosão do subsolo e a liquefação espontânea.

### **3.2 Movimento de massa**

Os movimentos de massa dizem respeito à movimentação de rocha ou solo, principalmente movidos pela gravidade, e são fenômenos cruciais na avaliação da estabilidade de taludes. Os tipos de movimento de massa (Tabela 1), de acordo com a NBR 11682 (2009), são classificados com base na natureza do material em movimento e na forma como ocorre o deslocamento. Esses movimentos podem ser desencadeados por uma série de fatores, incluindo variações climáticas, saturação do solo, atividades sísmicas e intervenções humanas.

**Tabela 1** – Tipos Básicos de Movimentos de Massa.

TERMINOLOGIA DOS TIPOS DE MOVIMENTO DE MASSA	Figura	DEFINIÇÃO
Queda / rolamento		Desprendimento de fragmentos do terreno, de qualquer tamanho, que caem de certa altura, em queda livre ou com qualquer outra trajetória e tipo de movimento.
Tombamento		Movimento de massa em forma de bascula com eixo na base.
Escorregamento		Movimento de massa por deslocamento sobre uma ou mais superfícies.
Escoamento		Movimento de massa com propriedades de fluido, lento ou rápido (corrida).

Fonte: NBR 11682, 2009.

Em uma análise desse tipo, dois parâmetros são essenciais: a coesão e o ângulo de atrito do solo. Esses fatores, além de definir a resistência ao deslizamento, aumentam a probabilidade de rupturas quando seus valores são pequenos. No caso de deslizamentos, além da coesão e do ângulo de atrito, o plano de fratura desempenha um papel fundamental, identificando áreas preferenciais de ruptura, muitas vezes relacionadas à presença de falhas que comprometem a estabilidade (Oliveira, 2020). Contudo, os taludes avaliados neste trabalho, são compostos de solo, portando não será necessário analisar os planos de fratura.

### **3.3 Métodos de cálculo de estabilidade de taludes**

Existem diversos métodos para calcular a estabilidade de taludes, contudo, cada qual tem suas particularidades e aplicações. Esses métodos podem variar de forma simples e empírica até análises mais aprofundadas que consideram a interação de diversos fatores como as propriedades do solo, as condições e os esforços externos. A escolha do método mais adequado está às características específicas do talude em questão e aos dados disponíveis.

### 3.4 Método de equilíbrio limite

De acordo com os estudos de Antocheviz (2018), os métodos de equilíbrio limite são amplamente utilizados para analisar a estabilidade de taludes, sendo reconhecidos pela sua simplicidade e precisão. Esses métodos possibilitam testar diferentes modelos geológicos e ajustar parâmetros geomecânicos de maneira rápida, facilitando a avaliação das condições de estabilidade ou instabilidade. No entanto, em problemas mais complexos, muitas vezes é necessário adotar suposições simplificadoras para calcular o fator de segurança (FS), já que o equilíbrio estático, por si só, não resolve todas as incertezas. Essas simplificações variam entre os métodos disponíveis, apesar de todos considerarem as mesmas condições de equilíbrio.

### 3.5 Fator de segurança

No contexto deste trabalho, o FS é definido como a razão entre as forças resistentes que impedem o movimento do talude, como, por exemplo, a força de atrito, e as forças atuantes, como a gravidade e a pressão de água, que tendem a provocar o deslizamento. As forças resistentes incluem a coesão do solo e o atrito interno, enquanto o limite de resistência representa a capacidade máxima do material de suportar essas forças atuantes. Esse fator é crucial na Engenharia, pois avalia a segurança e a estabilidade de projetos geotécnicos (Siqueira, 2023; Massad, 2010).

De acordo com a ABNT NBR 11682 (2009) os FS são estabelecidos considerando os níveis de proteção necessários para prevenir a perda de vidas humanas, bem como danos materiais e ambientais (Tabela 2).

**Tabela 2** – Fatores de Segurança Mínimo Recomendados para Deslizamentos.

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

Fonte: ABNT NBR 11682 (2009)

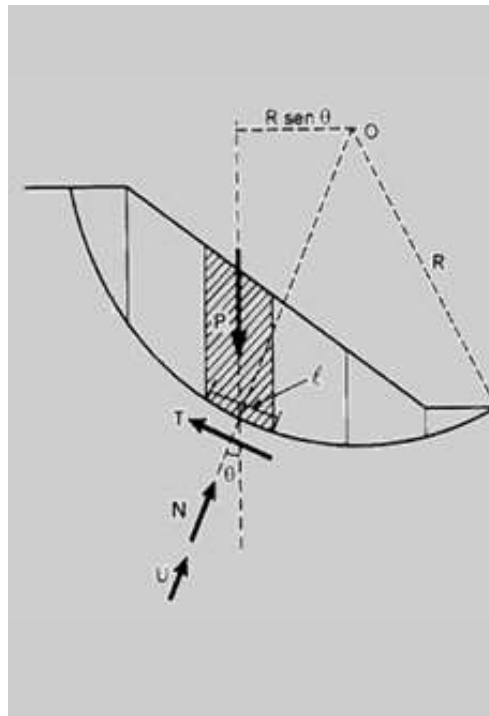
Em termos de estabilidade, Gerscovich (2016) afirma que um FS igual a 1 indica que o talude está em um estado crítico de ruptura, enquanto valores superiores a 1 indicam condições estáveis. Já valores menores que 1 não possuem uma interpretação física válida e, por isso, não são utilizados na avaliação da estabilidade. Existem diversos métodos técnicos

para avaliar a segurança de taludes; neste trabalho, serão adotados principalmente o método de Fellenius e o de Bishop.

### ***3.5.1 Método de Fellenius***

Conforme explica Machado (1997), Fellenius foi pioneiro no desenvolvimento do método das fatias, no qual se assumia que as forças entre as fatias são iguais e opostas, ignorando os esforços interfataiais. O cálculo do FS é feito diretamente com base no equilíbrio de momentos em torno do centro geométrico do círculo de ruptura, apesar de o equilíbrio de forças não ser garantido. Ainda segundo o autor, essa abordagem simplificada é uma das características que tornam o método de Fellenius conservador em comparação com métodos mais modernos.

O método de Fellenius, também conhecido como método do círculo de deslizamento ou do equilíbrio de fatias, segmenta o talude em fatias verticais, calculando o FS a partir do equilíbrio das forças atuantes em cada fatia (Figura 3), onde equilíbrio das forças em uma lamela envolve o peso ( $P$ ) da lamela e as forças provenientes das pressões neutras, que atuam tanto na base quanto nas faces da lamela, sendo o comprimento da base representado por  $\ell$ . A aplicação dessa metodologia requer o conhecimento das forças normais que atuam nas bases das fatias, as quais são determinadas a partir da direção perpendicular à base de cada fatia, alinhada com o raio do círculo de ruptura (Massad, 2010, p. 68-69).

**Figura 3** – Método das Fatias.

Fonte: Massad, 2010.

A equação para o cálculo do FS é expressa por (Eq. 1):

$$FS = \frac{\sum \left[ C \cdot \frac{\Delta X}{\cos \theta} + \left( P \cdot \cos \theta - u \cdot \frac{\Delta x}{\cos \theta} \right) \cdot \operatorname{tg} \phi \right]}{\sum (P \cdot \operatorname{sen} \theta)} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

C = Ângulo de coesão;

$\Delta X$  = Largura da lamela;

P = Peso da lamela;

u = Pressão neutra;

$\Theta$  = Ângulo de inclinação;

$\Phi$  = Ângulo de atrito.

### 3.5.2 Método de Bishop simplificado

O método Simplificado de Bishop representa uma evolução em relação ao método de Fellenius, proporcionando maior exatidão na avaliação da estabilidade de taludes. Esse

método irá levar em conta as interações entre essas fatias, o que possibilita uma análise mais acurada do FS. A força normal na base das fatias, é determinada de forma iterativa, visto que sua determinação está relacionada ao próprio FS (Massad, 2010, p. 69).

A fórmula do FS no método de Bishop é (Eq. 2):

$$FS = \frac{\sum \left[ c \cdot \frac{\Delta X}{\cos\theta} + \frac{P - u \cdot \Delta X - \frac{c \cdot \Delta X \cdot \tan\theta}{FS}}{\cos\theta + \frac{\tan\phi \cdot \sin\theta}{FS}} \cdot \tan\phi \right]}{\sum (P \cdot \sin\theta)} \quad (Eq. 2)$$

onde:

C = Ângulo de coesão;

$\Delta X$  = Largura da lamela;

P = Peso da lamela;

u = Pressão neutra;

$\Theta$  = Ângulo de inclinação;

$\Phi$  = Ângulo de atrito;

FS = Fator de segurança.

### 3.5.3 Comparação entre os métodos de Fellenius e Bishop

O estudo comparativo entre os métodos de Bishop Simplificado e Fellenius na análise de estabilidade de taludes é de extrema importância para a engenharia, uma vez que visa comparar e avaliar a eficácia e precisão dos dois métodos aplicados em taludes. A compreensão das diferenças fundamentais entre os dois métodos é essencial para garantir a segurança e estabilidade de projetos de engenharia civil que envolvem taludes.

A técnica de Fellenius é frequentemente empregada por sua simplicidade e caráter conservador, mesmo que despreze as interações entre as fatias. Este conservadorismo pode resultar em resultados menos exatos, pois o método não leva em conta as pressões horizontais entre as fatias, o que pode levar a FS inferiores em relação a métodos mais minuciosos (Massad, 2010, p. 68). Por conta dessa metodologia simplificada, o método é mais apropriado para circunstâncias que requerem uma avaliação inicial, mesmo que possa resultar em falhas ao lidar com pressões neutras.

Contudo, o método de Bishop Simplificado proporciona uma precisão superior, por considerar as interações entre as fatias. O processo para resolver o FS é iterativo, aumentando a precisão a cada ciclo. Portanto, o método simplificado de Bishop equilibra simplicidade e precisão, sendo visto como mais preciso que o de Fellenius, mesmo sendo mais simples de implementar em relação a métodos mais complexos (Massad, 2010, p. 69-70).

### **3.6 Importância da vegetação**

A ABNT NBR 6502 (2022) destaca que a degradação da superfície do solo é uma alteração que afeta negativamente seus usos planejados e potenciais. Atividades humanas, como a remoção de vegetação e a terraplenagem, tornam as áreas vulneráveis à erosão.

De acordo com Kazmierski, Santos e Odebrecht (2016), a estabilidade dos taludes pode ser significativamente aprimorada pela presença de vegetação, que desempenha um papel importante na interceptação da chuva e no aumento da coesão entre o solo e as raízes. Nesse sentido, a cobertura vegetal se destaca como uma solução prática e eficaz para proteger encostas, funcionando como uma barreira contra a erosão provocada pela chuva e pelo vento (Prandini *et al.*, 1976).

A vegetação do Cerrado exerce uma função crucial na estabilização de taludes, ajudando a prevenir a erosão e deslizamentos de terra. Plantas características dessa região, como os arbustos, têm raízes mais profundas e eficientes para fixar o solo, o que aumenta sua resistência. Em comparação, as gramíneas, que são comumente empregadas, podem apresentar restrições dependendo das propriedades do solo, como densidade, fertilidade e quantidade de chuvas. Assim, a vegetação nativa do Cerrado, com sua habilidade de adaptação e proteção contra a erosão, é vital para assegurar a estabilidade em regiões suscetíveis (Portocarrero *et al.*, 2006).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Caracterização da área de estudo**

A região de interesse abrange um talude localizado no Bairro Novo Jardim, na cidade de Unaí, estado de Minas Gerais (Figura 4). O talude foi formado pelo corte vertical na encosta, resultante das construções de residências próximas à área. A análise visual do solo na área do talude selecionado revelou a presença de uma argila siltosa pouco arenosa, caracterizada

como um material com propriedades intermediárias. Esse solo é composto predominantemente por partículas finas de silte e argila, com uma pequena fração de areia.

Esse talude apresenta sinais de movimentação de massa, o que indica a possibilidade de deslizamentos que podem comprometer significativamente a estabilidade da região.

Para avaliar a topografia local, foi realizado o levantamento do nível a laser no centro do talude, o que permitiu calcular a diferença de altura, obtendo-se um comprimento vertical de 4,60 m e um comprimento horizontal de 4,60 m.

**Figura 4** – Localização da Área do Talude em Estudo no Município de Unaí/MG.



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

O talude analisado apresenta sinais de erosão superficial (Figura 5), onde na imagem, a parte do solo que aparece mais escura é uma sombra gerada pelas casas construídas nas proximidades do talude. Essas construções, devido à sua localização e altura, projetam sombras sobre o solo, influenciando a iluminação da área e afetando a aparência visual do terreno.

A vegetação nativa do Cerrado concentra-se apenas no topo da encosta, com grandes áreas de solo exposto nas encostas, onde sulcos profundos (Figura 6) e erosão da superfície do solo indicam que a erosão já está em curso, agravada pela falta de cobertura vegetal adequada.



**Figura 5** – Indicação da Erosão Superficial e Distribuição da Vegetação no Talude Analisado.



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

**Figura 6** – Presença de Sulco Profundo na Área de Estudo.



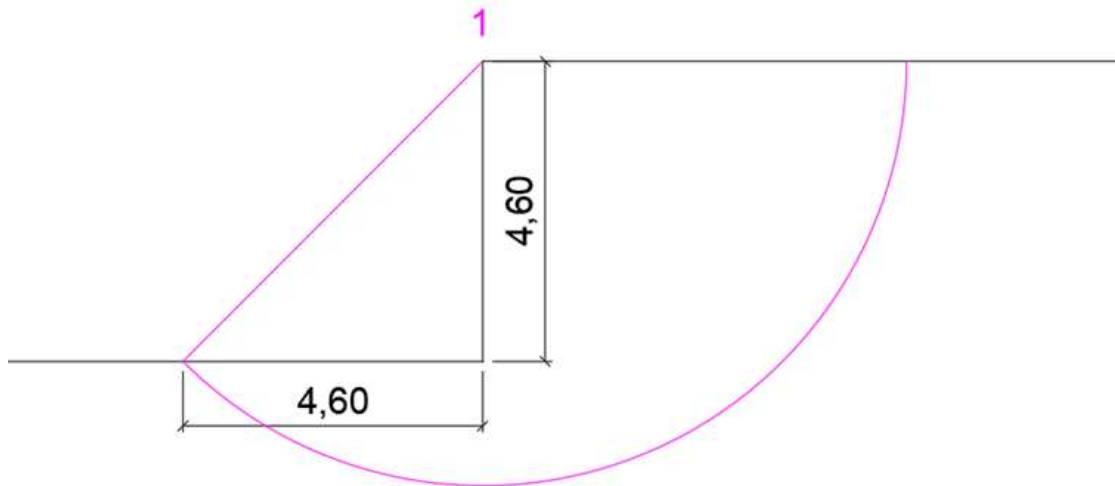
**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

#### ***4.2 Determinação das coordenadas dos pontos de referência no modelo geométrico***

Os cálculos de estabilidade têm início com a seleção de um ponto de referência, no qual são utilizados os comprimentos obtidos diretamente na área de estudo. Esses dados

permitem traçar a circunferência que representa o formato circular característico do rompimento global do talude. Para isso, é essencial conhecer as dimensões dessa circunferência, conforme ilustrado na Figura 7. Para alcançar resultados mais exatos, é preciso examinar diversas áreas de solo, observando seu comportamento até determinar o ponto mais próximo do limite de ruptura, bem como a região do solo mais propensa ao deslizamento.

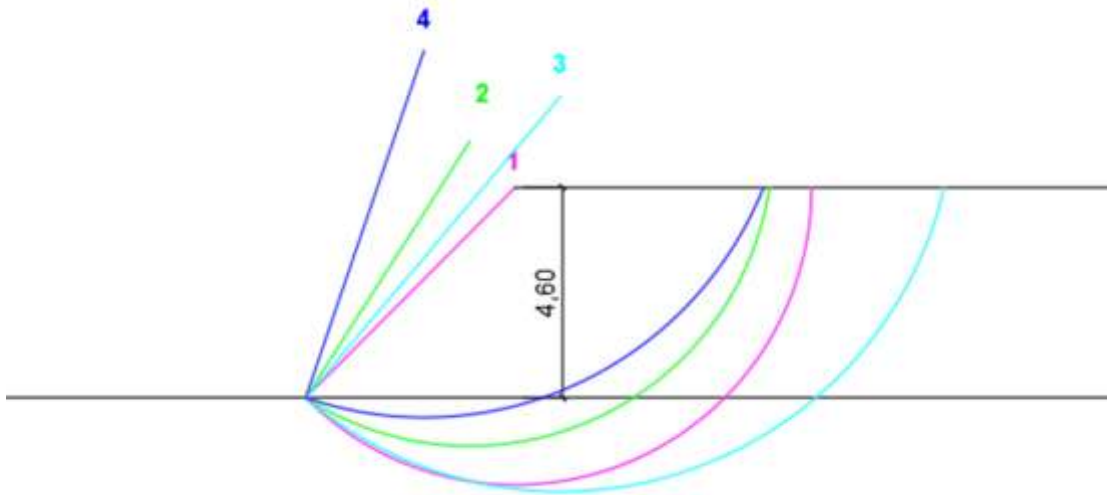
**Figura 7** – Dimensões do Talude.



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

Para alcançar esse objetivo, a análise será conduzida com base em quatro referências diferentes, proporcionando uma visão completa das propriedades de estabilidade do talude, baseadas nas dimensões das áreas de deslizamento. A Figura 8 apresenta o perfil do talude, mostrando a posição dos pontos de referência e suas áreas circulares correspondentes, que serão utilizadas nos cálculos de estabilidade.

**Figura 8** – Perfil do Talude Referenciado em Porções Circulares.



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

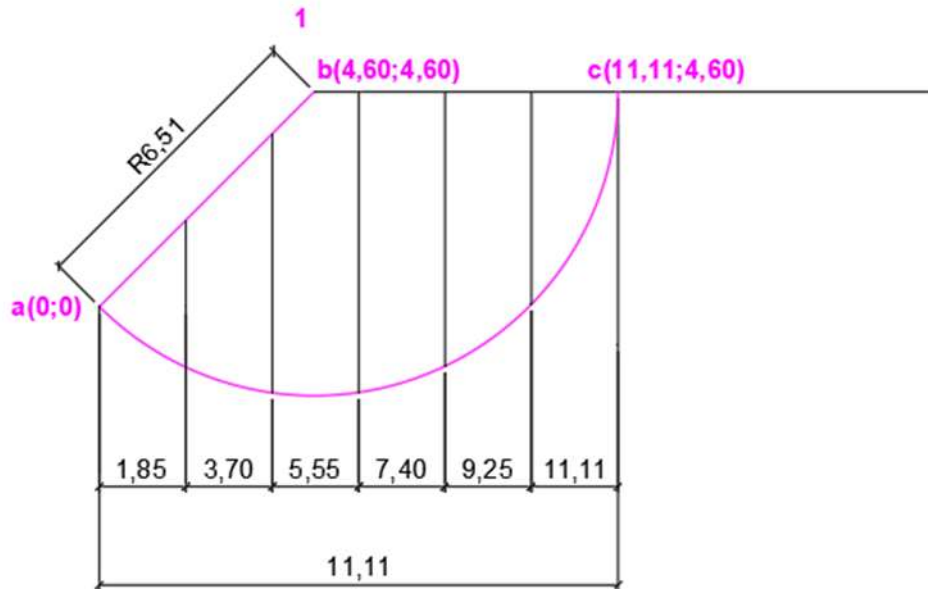
A partir do ponto de referência inicialmente definido no talude, foram selecionados mais três pontos de análise, sendo de forma aleatória ao longo do talude. Os pontos do comprimento horizontal (X) e vertical (Y) foram escolhidos de forma a garantir uma diferença de 1 metro entre eles, mas nunca o Y abaixo da altura do talude, ou seja, todos os pontos de análise estão localizados acima de 4,60 m. Isso se deve ao fato de que não podemos reduzir a altura do talude; embora seja possível compactar o solo, não é viável diminuir o talude, especialmente no caso específico deste estudo, que se refere a um talude localizado em um morro em constante crescimento. Os valores de X variaram tanto para distâncias maiores quanto menores em relação ao ponto de referência 1, permitindo a análise de pontos com diferentes inclinações, desde os mais íngremes até os mais suaves.

A escolha desses pontos teve o objetivo de garantir uma análise mais representativa das condições gerais do solo e da estabilidade do talude. Com essa abordagem, foi possível captar as possíveis variações nas características geotécnicas do terreno e realizar os cálculos dos FS de maneira mais abrangente.

As dimensões do talude foram obtidas diretamente por meio das ferramentas do AutoCAD, o que permitiu a determinação precisa do perfil. Para análise, em cada um dos quatro pontos de referência, o talude foi subdividido em seis lamelas, garantindo uma avaliação detalhada. As áreas circulares correspondentes foram delimitadas com base no raio calculado para cada ponto de referência, assegurando maior precisão nos cálculos e na representação do modelo. Utilizando o software, conseguimos estabelecer as cotas para cada um dos quatro pontos de referência a serem analisados, (Figuras 9, 10, 11 e 12). A ferramenta “Área” do

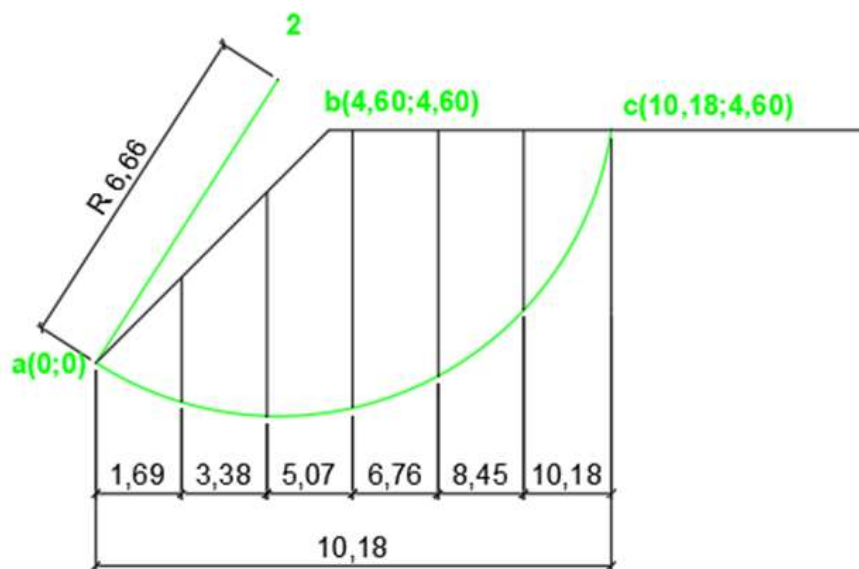
software permitiu uma obtenção precisa dos valores necessários para os cálculos de estabilidade, fornecendo, assim, os parâmetros iniciais para a análise da segurança do talude.

**Figura 9** – Talude Dividido em Lamelas por Referências do Ponto 1.



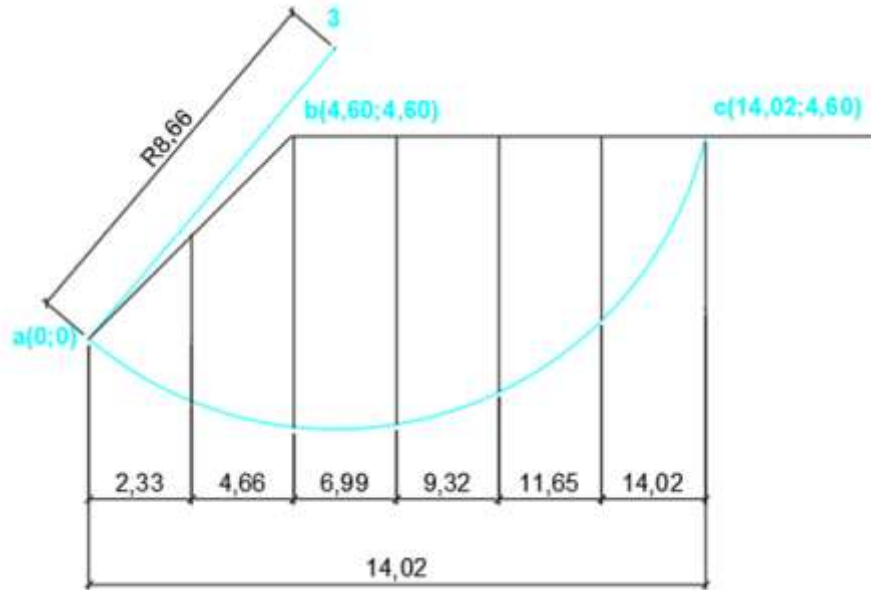
**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

**Figura 10** – Talude Dividido em Lamelas por Referências do Ponto 2.



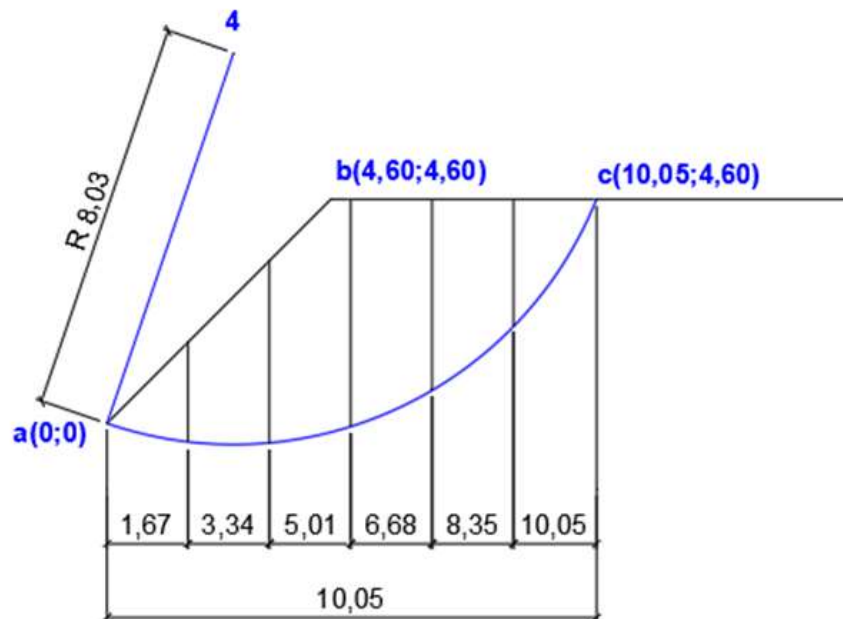
**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

**Figura 11** – Talude Dividido em Lamelas por Referências do Ponto 3.



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

**Figura 12** – Talude Dividido em Lamelas por Referências do Ponto 4.



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

A tabela 3 resume os valores das coordenadas, raios e o quadrado dos raios obtidos anteriormente durante as medições. Esses pontos foram utilizados para gerar as imagens no AutoCAD, permitindo uma análise visual detalhada da geometria do talude.

**Tabela 3** – Coordenadas, Raios e Quadrados dos Raios Utilizados para a Geração da Geometria do Talude no AutoCAD.

PONTO	X (m)	Y (m)	R (m)	R <sup>2</sup> (m)
1	4,6	4,6	6,51	42,38
2	3,6	5,6	6,66	74,92
3	5,6	6,6	8,66	117,52
4	2,6	7,6	8,03	89,12

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2024.

### 4.3 Propriedades físicas do solo

De acordo com Naime *et al.* (2014), os solos de Unaí-MG, apresentam características que afetam a estabilidade de taludes, sendo predominantemente argilosos e siltsosos, especialmente o Latossolo Vermelho-Amarelo. Essa composição influencia a resistência ao cisalhamento e a drenagem, fatores essenciais para a análise de estabilidade. Compreender essas propriedades é crucial para o planejamento seguro de taludes e a minimização de riscos de deslizamentos na região.

Para este estudo, utilizaremos como referência os dados apresentados na Tabela 4, que contém os parâmetros médios do solo, conforme estabelecido por Joppert Jr (2007).

**Tabela 4 – Relatório Tabela de Parâmetros Médios do Solo.**

Tabela nº 13 - Parâmetros médios do solo						
Tipo de Solo	Faixa de STP	Módulo de elasticidade (t/m <sup>2</sup> )	Peso específico		Ângulo Atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (tf/m <sup>2</sup> )
			Natural (t/m <sup>3</sup> )	Saturado (t/m <sup>3</sup> )		
Areia pouco siltsosa / 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
	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 siltsosa 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 siltsosa	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
Turfã / argila orgânica (quartenário)	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

**Fonte:** Fundações e contenções de edifícios, Joppert Jr (2007).

De acordo com as observações anteriores, o solo é uma argila siltsosa com pouca areia, ou seja, tem mais silte e argila e menos areia. Com base nessas propriedades, e com um STP entre 6 e 10, foram obtidos os valores necessários para o estudo da estabilidade do talude, que são essenciais para calcular o FS e analisar a estabilidade geral. Esses valores são:

- Peso específico ( $\gamma$ ) = 19 kN/m<sup>3</sup>
- Tensão de Coesão ( $C'$ ) = 20 kPa
- Ângulo de Atrito ( $\phi$ ) = 24°

Os fatores de segurança foram calculados utilizando as tabelas específicas para cada método. Com o valor obtido, primeiramente, pela de Fellenius, utilizou-se esse resultado como ponto de partida para calcular o FS de Bishop. O valor final de Bishop foi ajustado até que o FS calculado se igualasse ao FS adotado. Essa abordagem garantiu consistência nos resultados e permitiu uma comparação precisa entre os fatores de segurança.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise de estabilidade do ponto 1

O FS do método de Fellenius está acima de 1 (Tabela 5), com um valor de 3,43, indicando que o terreno apresenta uma condição estável. O método de Bishop, por sua vez, exibe um FS ainda maior, de 3,93 (Tabela 6), reforçando a estabilidade do talude. A diferença de 0,50 entre os métodos pode ser atribuída à maior precisão do método de Bishop, que considera o equilíbrio de momentos com maior detalhamento em comparação ao método de Fellenius, que adota uma abordagem mais simplificada. Essa discrepância ressalta a tendência do método de Bishop em ser mais conservador, o que pode ser interpretado como uma vantagem em análises que exigem margens de segurança adicionais.

**Tabela 5** – Fator de Segurança do Ponto 1 pelo Método de Fellenius.

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	u (kPa)	P (kN/m)	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>
1	20	19.00	3.05	1.85	-34	0.82904	-0.55919	24	0.44523	0	57.95	66.02	-32.41	3.43
2	20	19.00	8.12	1.85	-16	0.96126	-0.27564	24	0.44523	0	154.28	104.52	-42.53	
3	20	19.00	11.60	1.85	0	1.00000	0.00000	24	0.44523	0	220.40	135.13	0.00	
4	20	19.00	11.47	1.85	17	0.95630	0.29237	24	0.44523	0	217.93	131.48	63.72	
5	20	19.00	9.77	1.85	35	0.81915	0.57358	24	0.44523	0	185.63	112.87	106.47	
6	20	19.00	5.73	1.86	59	0.51504	0.85717	24	0.44523	0	108.87	97.19	93.32	
$\Sigma =$												647.21	188.58	

**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.



**Tabela 6 – Fator de Segurança do Ponto 1 pelo Método de Bishop.**

Lamelas	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>	
1	20	19.00	3.05	1.85	-34	0.82904	-0.55919	24	0.44523	-0.67451	0	57.95	3.43	83.02	-32.41	3.91	
2	20	19.00	8.12	1.85	-16	0.96126	-0.27564	24	0.44523	-0.28675	0	154.28	3.43	114.20	-42.53		
3	20	19.00	11.60	1.85	0	1.00000	0.00000	24	0.44523	0.00000	0	220.40	3.43	135.13	0.00		
4	20	19.00	11.47	1.85	17	0.95630	0.29237	24	0.44523	0.30573	0	217.93	3.43	134.81	63.72		
5	20	19.00	9.77	1.85	35	0.81915	0.57358	24	0.44523	0.70021	0	185.63	3.43	133.90	106.47		
6	20	19.00	5.73	1.86	59	0.51504	0.85717	24	0.44523	1.66428	0	108.87	3.43	136.80	93.32		
														$\Sigma =$	737.85	188.58	

Lamelas	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>	
1	20	19.00	3.05	1.85	-34	0.82904	-0.55919	24	0.44523	-0.67451	0	57.95	3.91	82.05	-32.41	3.93	
2	20	19.00	8.12	1.85	-16	0.96126	-0.27564	24	0.44523	-0.28675	0	154.28	3.91	113.66	-42.53		
3	20	19.00	11.60	1.85	0	1.00000	0.00000	24	0.44523	0.00000	0	220.40	3.91	135.13	0.00		
4	20	19.00	11.47	1.85	17	0.95630	0.29237	24	0.44523	0.30573	0	217.93	3.91	135.44	63.72		
5	20	19.00	9.77	1.85	35	0.81915	0.57358	24	0.44523	0.70021	0	185.63	3.91	135.28	106.47		
6	20	19.00	5.73	1.86	59	0.51504	0.85717	24	0.44523	1.66428	0	108.87	3.91	139.86	93.32		
														$\Sigma =$	741.42	188.58	

Lamelas	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>	
1	20	19.00	3.05	1.85	-34	0.82904	-0.55919	24	0.44523	-0.67451	0	57.95	3.93	82.02	-32.41	3.93	
2	20	19.00	8.12	1.85	-16	0.96126	-0.27564	24	0.44523	-0.28675	0	154.28	3.93	113.64	-42.53		
3	20	19.00	11.60	1.85	0	1.00000	0.00000	24	0.44523	0.00000	0	220.40	3.93	135.13	0.00		
4	20	19.00	11.47	1.85	17	0.95630	0.29237	24	0.44523	0.30573	0	217.93	3.93	135.46	63.72		
5	20	19.00	9.77	1.85	35	0.81915	0.57358	24	0.44523	0.70021	0	185.63	3.93	135.33	106.47		
6	20	19.00	5.73	1.86	59	0.51504	0.85717	24	0.44523	1.66428	0	108.87	3.93	139.96	93.32		
														$\Sigma =$	741.54	188.58	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2024.

## 5.2 Análise de estabilidade do ponto 2

Os dois métodos apontam para um talude estável, com valores de FS superiores a 1 (Tabela 7 e 8). Contudo, o método de Bishop novamente exhibe um FS superior (3,15), em comparação ao método de Fellenius (2,87). Essa diferença de 0,28 pode ser explicada pela consideração das forças de cisalhamento interlaminares no método de Bishop, enquanto que no de Fellenius essas forças são negligenciadas. Apesar de ambos os métodos indicarem estabilidade, o valor mais alto obtido pelo método de Bishop pode ser interpretado como uma abordagem que incorpora maior rigor nos cálculos e, conseqüentemente, oferece uma análise mais conservadora da segurança do talude. Este ponto reforça a recomendação de uso do método de Bishop quando se busca maior confiabilidade na análise.

**Tabela 7 – Fator de Segurança do Ponto 2 pelo Método de Fellenius.**

Lamelas	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	u (kPa)	P (kN/m)	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>			
1	20	19.00	2.14	1.69	-24	0.91355	-0.40674	24	0.44523	0	40.66	53.54	-16.54	2.87			
2	20	19.00	5.86	1.69	-9	0.98769	-0.15643	24	0.44523	0	111.34	83.18	-17.42				
3	20	19.00	8.73	1.69	5	0.99619	0.08716	24	0.44523	0	165.87	107.50	14.46				
4	20	19.00	8.82	1.69	20	0.93969	0.34202	24	0.44523	0	167.58	106.08	57.32				
5	20	19.00	7.22	1.69	37	0.79864	0.60182	24	0.44523	0	137.18	91.10	82.56				
6	20	19.00	3.86	1.73	59	0.51504	0.85717	24	0.44523	0	73.34	84.00	62.86				
														$\Sigma =$	525.40	183.24	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2024.

**Tabela 8 – Fator de Segurança do Ponto 2 pelo Método de Bishop.**

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>	
1	20	19.00	2.14	1.69	-24	0.91355	-0.40674	24	0.44523	-0.44523	0	40.66	2.87	61.03	-16.54	3.13	
2	20	19.00	5.86	1.69	-9	0.98769	-0.15643	24	0.44523	-0.15838	0	111.34	2.87	86.54	-17.42		
3	20	19.00	8.73	1.69	5	0.99619	0.08716	24	0.44523	0.08749	0	165.87	2.87	106.61	14.46		
4	20	19.00	8.82	1.69	20	0.93969	0.34202	24	0.44523	0.36397	0	167.58	2.87	109.20	57.32		
5	20	19.00	7.22	1.69	37	0.79864	0.60182	24	0.44523	0.75355	0	137.18	2.87	106.35	82.56		
6	20	19.00	3.86	1.73	59	0.51504	0.85717	24	0.44523	1.66428	0	73.34	2.87	103.76	62.86		
														$\Sigma =$	573.50	183.24	

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>	
1	20	19.00	2.14	1.69	-24	0.91355	-0.40674	24	0.44523	-0.44523	0	40.66	3.13	60.66	-16.54	3.15	
2	20	19.00	5.86	1.69	-9	0.98769	-0.15643	24	0.44523	-0.15838	0	111.34	3.13	86.36	-17.42		
3	20	19.00	8.73	1.69	5	0.99619	0.08716	24	0.44523	0.08749	0	165.87	3.13	106.73	14.46		
4	20	19.00	8.82	1.69	20	0.93969	0.34202	24	0.44523	0.36397	0	167.58	3.13	109.69	57.32		
5	20	19.00	7.22	1.69	37	0.79864	0.60182	24	0.44523	0.75355	0	137.18	3.13	107.30	82.56		
6	20	19.00	3.86	1.73	59	0.51504	0.85717	24	0.44523	1.66428	0	73.34	3.13	105.58	62.86		
														$\Sigma =$	576.31	183.24	

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>	
1	20	19.00	2.14	1.69	-24	0.91355	-0.40674	24	0.44523	-0.44523	0	40.66	3.15	60.64	-16.54	3.15	
2	20	19.00	5.86	1.69	-9	0.98769	-0.15643	24	0.44523	-0.15838	0	111.34	3.15	86.35	-17.42		
3	20	19.00	8.73	1.69	5	0.99619	0.08716	24	0.44523	0.08749	0	165.87	3.15	106.74	14.46		
4	20	19.00	8.82	1.69	20	0.93969	0.34202	24	0.44523	0.36397	0	167.58	3.15	109.72	57.32		
5	20	19.00	7.22	1.69	37	0.79864	0.60182	24	0.44523	0.75355	0	137.18	3.15	107.35	82.56		
6	20	19.00	3.86	1.73	59	0.51504	0.85717	24	0.44523	1.66428	0	73.34	3.15	105.68	62.86		
														$\Sigma =$	576.47	183.24	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2024.

### 5.3 Análise de estabilidade do ponto 3

Os dois métodos exibem um FS significativamente acima de 1 (Tabela 9 e 10), indicando uma condição de estabilidade bastante segura para o talude. O método de Fellenius apresenta um FS de 4,20, enquanto o método de Bishop apresenta um valor ainda mais elevado, de 4,75. A pequena diferença entre os métodos indica que ambos fornecem uma análise confiável neste caso.

**Tabela 9 – Fator de Segurança do Ponto 3 pelo Método de Fellenius.**

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	u (kPa)	P (kN/m)	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>		
1	20	19.00	4.50	2.14	-31	0.85717	-0.51504	24	0.44523	0	85.50	82.56	-44.04	4.20		
2	20	19.00	12.24	2.14	-14	0.97030	-0.24192	24	0.44523	0	232.56	144.58	-56.26			
3	20	19.00	15.44	2.14	-2	0.99939	-0.03490	24	0.44523	0	293.36	173.36	-10.24			
4	20	19.00	14.52	2.14	17	0.95630	0.29237	24	0.44523	0	275.88	162.22	80.66			
5	20	19.00	11.84	2.14	34	0.82904	0.55919	24	0.44523	0	224.96	134.66	125.80			
6	20	19.00	6.00	2.14	57	0.54464	0.83867	24	0.44523	0	114.00	106.23	95.61			
													$\Sigma =$	803.61	191.53	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2024.

**Tabela 10 – Fator de Segurança do Ponto 3 pelo Método de Bishop.**

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>
1	20	19.00	4.50	2.14	-31	0.85717	-0.51504	24	0.44523	-0.60086	0	85.50	4.20	94.85	-44.04	4.72
2	20	19.00	12.24	2.14	-14	0.97030	-0.24192	24	0.44523	-0.24933	0	232.56	4.20	151.58	-56.26	
3	20	19.00	15.44	2.14	-2	0.99939	-0.03490	24	0.44523	-0.03492	0	293.36	4.20	171.97	-10.24	
4	20	19.00	14.52	2.14	17	0.95630	0.29237	24	0.44523	0.30573	0	275.88	4.20	167.11	80.66	
5	20	19.00	11.84	2.14	34	0.82904	0.55919	24	0.44523	0.67451	0	224.96	4.20	162.09	125.80	
6	20	19.00	6.00	2.14	57	0.54464	0.83867	24	0.44523	1.53986	0	114.00	4.20	155.50	95.61	
													$\Sigma =$	903.11	191.53	

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>
1	20	19.00	4.50	2.14	-31	0.85717	-0.51504	24	0.44523	-0.60086	0	85.50	4.72	100.02	-44.04	4.75
2	20	19.00	12.24	2.14	-14	0.97030	-0.24192	24	0.44523	-0.24933	0	232.56	4.72	154.46	-56.26	
3	20	19.00	15.44	2.14	-2	0.99939	-0.03490	24	0.44523	-0.03492	0	293.36	4.72	174.09	-10.24	
4	20	19.00	14.52	2.14	17	0.95630	0.29237	24	0.44523	0.30573	0	275.88	4.72	168.34	80.66	
5	20	19.00	11.84	2.14	34	0.82904	0.55919	24	0.44523	0.67451	0	224.96	4.72	162.11	125.80	
6	20	19.00	6.00	2.14	57	0.54464	0.83867	24	0.44523	1.53986	0	114.00	4.72	149.97	95.61	
													$\Sigma =$	908.99	191.53	

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>
1	20	19.00	4.50	2.14	-31	0.85717	-0.51504	24	0.44523	-0.60086	0	85.50	4.75	99.98	-44.04	4.75
2	20	19.00	12.24	2.14	-14	0.97030	-0.24192	24	0.44523	-0.24933	0	232.56	4.75	154.43	-56.26	
3	20	19.00	15.44	2.14	-2	0.99939	-0.03490	24	0.44523	-0.03492	0	293.36	4.75	174.09	-10.24	
4	20	19.00	14.52	2.14	17	0.95630	0.29237	24	0.44523	0.30573	0	275.88	4.75	168.37	80.66	
5	20	19.00	11.84	2.14	34	0.82904	0.55919	24	0.44523	0.67451	0	224.96	4.75	162.18	125.80	
6	20	19.00	6.00	2.14	57	0.54464	0.83867	24	0.44523	1.53986	0	114.00	4.75	150.09	95.61	
													$\Sigma =$	909.14	191.53	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2024.

#### 5.4 Análise de estabilidade do ponto 4

Neste ponto, os métodos de Fellenius e Bishop exibem FS superiores a 1 (Tabela 11 e 12), com valores de 2,60 e 2,74, respectivamente, indicando uma condição estável do talude. A diferença moderada de 0,14 reflete a maior precisão do método de Bishop, sem comprometer a concordância geral entre os resultados na análise de estabilidade.

**Tabela 11 – Fator de Segurança do Ponto 4 pelo Método de Fellenius.**

Lamela	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	u (kPa)	P (kN/m)	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>		
1	20	19.00	1.75	1.67	-13.00	0.97437	-0.22495	24	0.44523	0	33.25	48.70	-7.48	2.60		
2	20	19.00	4.87	1.67	-1.00	0.99985	-0.01745	24	0.44523	0	92.53	74.60	-1.61			
3	20	19.00	7.33	1.67	11.00	0.98163	0.19081	24	0.44523	0	139.27	94.89	26.57			
4	20	19.00	7.23	1.67	24.00	0.91355	0.40674	24	0.44523	0	137.37	92.43	55.87			
5	20	19.00	5.54	1.67	38.00	0.78801	0.61566	24	0.44523	0	105.26	79.32	64.80			
6	20	19.00	2.52	1.70	55.00	0.57358	0.81915	24	0.44523	0	47.88	71.50	39.22			
													$\Sigma =$	461.45	177.38	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2024.

**Tabela 12 – Fator de Segurança do Ponto 4 pelo Método de Bishop.**

Lamelas	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>
1	20	19.00	1.75	1.67	-13	0.97437	-0.22495	24	0.44523	-0.23087	0	33.25	2.60	51.51	-7.48	2.73
2	20	19.00	4.87	1.67	-1	0.99985	-0.01745	24	0.44523	-0.01746	0	92.53	2.60	74.83	-1.61	
3	20	19.00	7.33	1.67	11	0.98163	0.19081	24	0.44523	0.19438	0	139.27	2.60	94.06	26.57	
4	20	19.00	7.23	1.67	24	0.91355	0.40674	24	0.44523	0.44523	0	137.37	2.60	96.18	55.87	
5	20	19.00	5.54	1.67	38	0.78801	0.61566	24	0.44523	0.78129	0	105.26	2.60	89.84	64.80	
6	20	19.00	2.52	1.70	55	0.57358	0.81915	24	0.44523	1.42815	0	47.88	2.60	77.50	39.22	
													$\Sigma =$	483.93	177.38	

Lamelas	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>
1	20	19.00	1.75	1.67	-13	0.97437	-0.22495	24	0.44523	-0.23087	0	33.25	2.73	51.41	-7.48	2.74
2	20	19.00	4.87	1.67	-1	0.99985	-0.01745	24	0.44523	-0.01746	0	92.53	2.73	74.82	-1.61	
3	20	19.00	7.33	1.67	11	0.98163	0.19081	24	0.44523	0.19438	0	139.27	2.73	94.20	26.57	
4	20	19.00	7.23	1.67	24	0.91355	0.40674	24	0.44523	0.44523	0	137.37	2.73	96.50	55.87	
5	20	19.00	5.54	1.67	38	0.78801	0.61566	24	0.44523	0.78129	0	105.26	2.73	90.34	64.80	
6	20	19.00	2.52	1.70	55	0.57358	0.81915	24	0.44523	1.42815	0	47.88	2.73	78.21	39.22	
													$\Sigma =$	485.49	177.38	

Lamelas	c	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	$\Delta x$	$\Theta$ (°)	cos $\Theta$	sen $\Theta$	$\phi$ (°)	tg $\phi$	tg $\Theta$	u (kPa)	P (kN/m)	FS <sub>adot.</sub>	Num.	Denom.	FS <sub>calc.</sub>
1	20	19.00	1.75	1.67	-13	0.97437	-0.22495	24	0.44523	-0.23087	0	33.25	2.74	51.40	-7.48	2.74
2	20	19.00	4.87	1.67	-1	0.99985	-0.01745	24	0.44523	-0.01746	0	92.53	2.74	74.82	-1.61	
3	20	19.00	7.33	1.67	11	0.98163	0.19081	24	0.44523	0.19438	0	139.27	2.74	94.21	26.57	
4	20	19.00	7.23	1.67	24	0.91355	0.40674	24	0.44523	0.44523	0	137.37	2.74	96.52	55.87	
5	20	19.00	5.54	1.67	38	0.78801	0.61566	24	0.44523	0.78129	0	105.26	2.74	90.37	64.80	
6	20	19.00	2.52	1.70	55	0.57358	0.81915	24	0.44523	1.42815	0	47.88	2.74	78.26	39.22	
													$\Sigma =$	485.59	177.38	

**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor, 2024.

### 5.5 Relação entre as dimensões do talude e o FS

O fator antrópico, aliado às condições naturais do solo, está diretamente relacionado à instabilidade do talude. As dimensões do talude, representadas pelas coordenadas X e Y de cada ponto, influenciam diretamente a estabilidade do terreno, uma vez que essas coordenadas indicam a disposição espacial e a inclinação do talude. Essas características afetam o comportamento mecânico do solo e, conseqüentemente, o FS.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, o grau de deslocamento observado corresponde a um escorregamento, caracterizado pelo movimento de grandes volumes de solo, que resulta na deformação do talude. A análise das dimensões do talude reforça a importância de sua configuração geométrica, pois inclinações mais acentuadas e diferenças expressivas nas coordenadas X e Y aumentam a suscetibilidade a processos de instabilidade.

Além disso, a presença de pontos erodidos e a exposição do solo indicam a necessidade de intervenções para mitigar os riscos de deslizamento. Essas intervenções podem incluir a revegetação da área com espécies nativas do Cerrado ou outras plantas adequadas para a retenção do solo, bem como a aplicação de técnicas de contenção que previnam o avanço da erosão. Tais medidas são essenciais para garantir a estabilidade do talude e para aumentar o FS, minimizando a ocorrência de possíveis deslizamentos futuros.

### ***5.5.1 Análise do ponto 1 (X = 4,60 m, Y = 4,60 m): inclinação acentuada e condição estável***

Neste ponto, as dimensões iguais de X (4,60 m) e Y (4,60 m) sugerem uma inclinação acentuada, caracterizando um talude próximo a um ângulo de 45°. Apesar da geometria mais inclinada, os fatores de segurança obtidos, tanto pelo método de Fellenius (FS = 3,43) quanto pelo método de Bishop (FS = 3,93), indicam uma condição de estabilidade significativa. A diferença de 0,50 entre os métodos reflete a maior precisão do método de Bishop, que considera forças interlaminares, mas não altera a conclusão geral de que o talude apresenta alta resistência ao deslizamento.

### ***5.5.2 Análise do ponto 2 (X = 3,60 m, Y = 5,60 m): inclinação acentuada e condição estável***

A relação entre X (3,60 m) e Y (5,60 m) indica um talude com inclinação mais acentuada, o que poderia favorecer o deslizamento devido ao aumento das forças de cisalhamento. No entanto, os fatores de segurança calculados pelos métodos de Fellenius (FS = 2,87) e Bishop (FS = 3,15) demonstram que o talude está em uma condição estável. A diferença de 0,28 entre os métodos reflete a maior precisão do método de Bishop, mas ambos confirmam a alta capacidade do solo em resistir a deslizamentos, sugerindo boas propriedades de coesão e atrito interno.

### ***5.5.3 Análise do ponto 3 (X = 5,60 m, Y = 6,60 m): inclinação moderada e alta estabilidade***

Neste ponto, a proporção entre X (5,60 m) e Y (6,60 m) sugere uma inclinação moderada, caracterizada por um talude relativamente estável. Os fatores de segurança calculados, tanto pelo método de Fellenius (FS = 4,20) quanto pelo método de Bishop (FS = 4,75), indicam uma condição de alta estabilidade. A diferença de 0,55 entre os métodos reflete a maior precisão do método de Bishop, mas ambos concordam que o talude apresenta uma resistência significativa ao deslizamento, evidenciando a boa qualidade do solo e sua capacidade de suportar as condições presentes.

### ***5.5.4 Análise do ponto 4 (X = 2,60 m, Y = 7,60 m): inclinação íngreme e alta estabilidade***

Com uma dimensão vertical (Y = 7,60 m) consideravelmente maior que a horizontal (X = 2,60 m), este ponto apresenta uma inclinação bastante acentuada, o que normalmente

aumentaria o risco de instabilidade. No entanto, os fatores de segurança calculados, tanto pelo método de Fellenius ( $FS = 2,60$ ) quanto pelo método de Bishop ( $FS = 2,74$ ), indicam uma condição estável. A diferença de 0,14 entre os dois métodos demonstra boa concordância, sugerindo que o talude apresenta propriedades adequadas de resistência, mesmo em condições geométricas desfavoráveis.

## **6 CONCLUSÃO**

A análise de estabilidade do talude, a partir do ponto de referência 1, revelou que o talude está em boa condição de estabilidade, com fatores de segurança elevados, indicando resistência significativa ao deslizamento.

A caracterização revelou que o solo da área de estudo é predominantemente composto por argila siltosa pouco arenosa, com propriedades que influenciam diretamente a estabilidade do talude. A análise indicou que o solo apresenta um peso específico e ângulo de atrito adequados para proporcionar uma resistência significativa ao cisalhamento, fatores que foram determinantes para a obtenção dos fatores de segurança nos pontos analisados.

A aplicação do método de Fellenius demonstrou fatores de segurança variando entre 2,60 e 4,20, comprovando a estabilidade geral dos taludes, mesmo com inclinações acentuadas. Esse método, apesar de conservador, mostrou-se eficaz para a análise preliminar, destacando-se em situações em que o equilíbrio de momentos é o critério predominante para avaliar a estabilidade.

Os resultados obtidos pelo método de Bishop variaram de 2,74 a 4,75, indicando uma maior precisão em comparação com Fellenius devido à consideração das forças interfaciais. A diferença nos valores encontrados entre os dois métodos reforça a importância de utilizar abordagens complementares para garantir uma análise mais detalhada e precisa, especialmente em taludes com geometrias complexas.

A presença da vegetação nativa do Cerrado na área de estudo pode ser utilizada para a estabilização dos taludes. As suas raízes profundas e adaptáveis contribuem para a fixação do solo, diminuindo a erosão e evitando deslizamentos. Portanto, a existência dessa vegetação aumenta a proteção e a estabilidade das encostas, evidenciando sua relevância para a preservação do solo.

## **REFERÊNCIAS**

ANTOCHVIZ, F. **Análise de estabilidade de taludes utilizando métodos de equilíbrio limite**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/184854>. Acesso em 10/09. Acesso em: 4 de set. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Solos e Rochas: Terminologias. ABNT: Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de Encostas. ABNT: Rio de Janeiro, 2009.

CARVALHO, P. A. S. (Coord.) *et al.* **Talude de rodovias**: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: IPT, 1991. 410 p. (Publicação 1843).

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

JOPPERT JR., Ivan. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2007.

KAZMIERSKI, Michel; SANTOS, Adriana Goulart dos; ODEBRECHT, Edgar. **Influência da vegetação no aumento do fator de segurança de taludes**. Joinville: Universidade do Estado de Santa Catarina. 2016. Disponível em: [https://www1.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/2551/78.pdf](https://www1.udesc.br/arquivos/id_submenu/2551/78.pdf). Acesso em: 17 out. 2024.

MASSAD, Façal. **Obras de Terra**: Curso Básico de Geotecnia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

NAIME, U. J. *et al.* **Solos e avaliação do potencial agrossilvipastoril das microrregiões Paracatu e Unaí** - Minas Gerais. Belo Horizonte: Epamig, 2014. 106 p. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1036511>. Acesso em: 09 de out. de 2024

NETO, L.; FREITAS, G. **Análise de estabilidade de taludes de barragens de terra**. Revista Científica Multidisciplinar do CEAP, v. 2, n. 1, p. 10, 26 nov. 2020.

OFICINA DE TEXTOS. **Quais são os tipos de talude?** Blog da Oficina de Textos, 2022. Disponível em: <https://blog.ofitexto.com.br/engenharia-civil/quais-sao-os-tipos-de-talude/>. Acesso em: 7 nov. 2024.

OLIVEIRA, Camila de Andrade. **Mapeamento de risco de movimentos de massa em João Pessoa – PB através de uma metodologia quali-quantitativa de classificação de risco**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

PRANDINI, L. F.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J. A.; PONÇANO, W. L.; SANTOS, A. R. **Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas**: uma resenha crítica. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 1976. 38 p. (Relatório n. 1074).

PORTOCARRERO, H.; ANDRADE, A. G.; CAMPOS, T. M. P.; FERNANDES, N. F. **Aspectos hidrológicos e mecânicos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**

**naturais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86973/1/Doc-88-2006-Aspectos-hidrologicos.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.

RODRIGUES JUNIOR, Aداuri Silveira; OLIVEIRA, Cláudio Bonfante de; MAGALHÃES, Gabriel Vieira Machado Meirelles; PEREIRA, Bernardo dos Santos Penedo; NICOLAU, Alex de Souza. **Estabilização de taludes em obras civis.** *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*. v. 9, n. 10, p. 2182–2191, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i10.11721. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/11721>. Acesso em: 14 set. 2024.

SILVA, José Pedro M. D. **Os métodos de equilíbrio limite e dos elementos finitos na análise de estabilidade de taludes.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

SIQUEIRA, Caio Rogério Sousa. **Análise da estabilidade de um talude localizado em Fortaleza-CE.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Russas, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/75245>. Acesso em: 5 set. 2024.

TAVARES, Gustavo dos Santos. **Análise da estabilidade de taludes da voçoroca do Parque Cesamar, Palmas – TO.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

TERZAGHI, Karl. **Mechanism of Landslides.** In: The Geological Society of America - Engineering Geology (Berkey) Volume, Harvard University, 1950. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/509939934/Terzaghi-1950-En>. Acesso em: 15 out. 2024.





**UFVJM**