



MIRIAN DINIZ MANSO

**ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE UMA VOÇOROCA EM LAVRAS – MG
COM PROPOSIÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO**

**LAVRAS – MG
2022**

MIRIAN DINIZ MANSO

**ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE TALUDE DE UMA VOÇOROCA EM
LAVRAS-MG COM PROPOSIÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de bacharel.

Prof^ª. Raquel Mariano Linhares, D. Sc.
Orientadora

Prof^ª. Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro
Co-Orientadora

**LAVRAS – MG
2022**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Manso, Mirian Diniz.

Análises de estabilidade de uma voçoroca em Lavras - MG com proposição de estabilização / Mirian Diniz Manso. - 2022.

42 p. : il.

Orientador(a): Raquel Mariano Linhares.

Coorientador(a): Priscilla Abreu Pereira Ribeiro.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Fotogrametria digital. 2. Teoria do equilíbrio limite. 3. Métodos de estabilização de taludes. I. Linhares, Raquel Mariano. II. Ribeiro, Priscilla Abreu Pereira. III. Título.

MIRIAN DINIZ MANSO

**ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE TALUDE DE UMA VOÇOROCA EM
LAVRAS-MG COM PROPOSIÇÃO DE ESTABILIZAÇÃO**


Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de bacharel.

APROVADA em 02 de maio de 2022

Raquel Mariano Linhares UFLA

Priscilla Abreu Pereira Ribeiro UFLA

Eduardo Souza Cândido UFLA



Prof^a. Raquel Mariano Linhares, D. Sc.
Orientadora



Prof^{as}. Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro
Co-Orientada

**LAVRAS – MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me dado discernimento e por ter me sustentado e iluminado em momentos difíceis. Agradeço aos meus pais, Conceição e Caio, por me terem educado e proporcionado a magnífica experiência que é ser estudante. Não chegaria até aqui se não fosse pelo apoio, paciência e incentivo deles. Igualmente agradeço a minha irmã, Thais, por também acreditar em mim. Aos meus avós, por acreditarem em mim e entenderem a distância por diversos momentos, mesmo aqueles que não estão mais nessa vida, mas acreditaram.

Agradeço à orientadora Raquel Linhares pela orientação, dedicação, entusiasmo, paciência, ânimo, pelas sábias lições que me foram passadas, pelas conversas amigas e tranquilizadoras, pelas dúvidas sanadas, pela disponibilidade para me atender sempre que necessário e, principalmente, pela competência na orientação, na construção, nos resultados e nas conclusões desta monografia. E à professora Priscilla Ribeiro por aceitar esse desafio, pela avaliação e pelos esclarecimentos tirados ao longo do projeto. É uma honra muito grande ter meu trabalho discutido e avaliado por professoras tão renomadas.

Agradeço também aos demais mestres do curso de engenharia civil da UFLA, aos quais sempre serei grata pelo conhecimento transmitido.

Aos amigos e colegas de graduação pelos momentos de companheirismo, cooperação, de estudo e sobretudo, de descontração, pelas farras e festas e pela contagiante alegria e que fazem desta experiência algo de muita riqueza que guardarei para vida.

Por fim, desejo externar os mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que também contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e para a minha formação acadêmica.

*A minha Mãe Conceição.
Ao meu Pai Caio.
A minha irmã Thais.
Dedico*

RESUMO

O presente estudo é um projeto pensado para revitalização da voçoroca que se encontra na Avenida Dr. Sílvio Menicucci, atrás da Prefeitura Municipal de Lavras, focado na estabilidade dos taludes. Fez-se um levantamento topográfico utilizando um veículo aéreo não tripulado (VANT) que foi inserido e analisado em um programa computacional de fotogrametria digital. De tal, foram retiradas as curvas de nível do local, essenciais para a elaboração do projeto arquitetônico do novo uso do espaço, cujo foco é o lazer e bem-estar da população de Lavras. Após definido o projeto arquitetônico, foram determinados os platôs com volumes de corte e aterro. Foi definida uma seção crítica do projeto arquitetônico e foram feitas análises de estabilidade de taludes por meio de softwares de equilíbrio limite das situações de talude natural e taludes de corte e aterro advindos do projeto arquitetônico. Foram, então propostas soluções de estabilização para o último caso, com sugestão de métodos de estabilização de encostas, visando um fator de segurança (FS) de 1,5, preconizado por norma, garantindo assim a segurança dos usuários desse novo empreendimento e das moradias à montante no local. Os cortes para o projeto arquitetônico deixariam a seção crítica no limiar a ruptura com um FS de 1,022, entretanto foram inseridos grampos para estabilização ficando assim com um FS de 1,382, menor do que o exigido pela norma. Adotou-se a solução de bermas de equilíbrio para uma berma otimizada com o FS próximo de 1,5 exigido pela norma NBR 11682 (ABNT, 2009).

Palavras-chave: estabilidade de taludes; solo grampeado; bermas de equilíbrio; fotogrametria digital.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1.	Voçorocas.....	11
2.2.	Movimentos de Massa.....	11
2.3.	Teoria de Equilíbrio Limite.....	14
2.4.	Problemas provocados por voçorocas e movimentos de massa.....	16
2.5.	Métodos de Estabilização de Taludes de Solo	19
2.6.	Levantamento topográfico com o drone.....	22
3	METODOLOGIA.....	25
3.1.	Área de estudo e levantamento.....	25
3.2.	Projeto arquitetônico de uso do local	27
3.3.	Seções estudadas, parâmetros geotécnicos e métodos de análise	27
4	RESULTADOS	31
4.1.	Seção com geometria natural	31
4.2.	Seção projeto arquitetônico	32
4.3.	Estabilização da seção	33
5	CONCLUSÕES e sugestões para pesquisas futuras.....	38
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento da população, o impacto ambiental das atividades humanas tem sido amplamente discutido. Surge então a necessidade, de que essa população tenha condições dignas de habitação. Com isso, o estudo de estabilização de taludes se faz de suma importância na engenharia e na geologia, sendo os prejuízos causados pelas rupturas de taludes muitas vezes inestimáveis. Considera-se, então, a necessidade de possibilitar à população índices de segurança e conforto adequados para uma existência tranquila.

O estudo da estabilidade de taludes depende de uma série de fatores dos quais se destacam: a topografia, a geologia, a hidrogeologia, o clima e até a própria ação humana.

Neste trabalho, foi feito o levantamento topográfico de uma região de voçoroca na cidade de Lavras por fotogrametria digital utilizando um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). Os dados foram inseridos no software 3DF Zephir, de onde resultou um modelo tridimensional da área.

Em seguida, foi proposto um projeto arquitetônico de uso da região pelo Discente Breno Silva Alves, de forma a prover lazer e bem-estar à população da cidade.

Deste projeto, foram retiradas seções críticas dos platôs e taludes de corte e aterro, nas quais foram realizadas uma análise da estabilidade de taludes por meio do software de análise de estabilidade GeoStudio. Também foi proposta uma solução de estabilização em solo grampeado e bermas de estabilidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Voçorocas

Voçorocas são processos erosivos definidos por depressões profundas em cuja passagem do curso d'água corta os sedimentos arenosos de fraca coesão (VIEIRA, 1978). Segundo Daibert (2014), as causas da erosão podem ser tanto naturais, pela ação da própria natureza sem interferência humana, como a ação da água, do vento, mudanças de temperatura, vulcões e o sol; quanto artificiais, que ocorrem pela ação do homem, como o desmatamento, mineração, estradas, hidrelétricas, agricultura, aterros sanitários, construções em áreas não edificantes, entre outras. A formação de voçorocas ocorre normalmente onde se propicia a passagem da água das chuvas com maior facilidade, como nos vales naturais em que a cobertura vegetal original foi retirada (DAIBERT, 2014). Ademais, as atividades humanas aceleram o desgaste e depauperamento dos solos (NIKOSHELI, 2015).

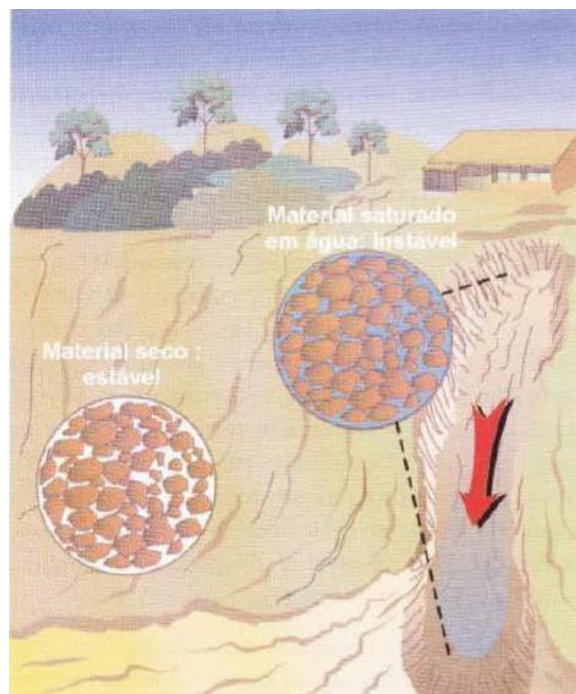
Os fatores que contribuem para erosão ou formação de voçorocas são: clima, tipos de solo, declividade do terreno e tipo de manejo agrícola (LEPSCH, 2010). Para Lepsch (2010) as chuvas afetam a erosão a depender das suas intensidade, quantidade e distribuição (Figura 1). Quanto à natureza, as suas características físicas que influenciam no processo de erosão são: textura, permeabilidade e profundidade. Referente à textura, os solos arenosos são mais passíveis de erosão que um solo argiloso. Já sobre a permeabilidade, os Argissolos são mais permeáveis que os Latossolos, portanto, mais facilmente erodidos. Assim, solos rasos são mais sujeitos à erosão que os solos mais profundos, pois estes facilitam o escoamento superficial e, conseqüentemente o seu desgaste superficial. A declividade também interfere nos processos erosivos, quanto mais inclinado, maior a velocidade com que a água escoar e, portanto, maior o risco de erosão. Além disso, nessas regiões a água escoar mais rapidamente, com mais energia, dificultando a infiltração. Por fim, um fator importante é a fertilidade: em situações de maior abundância de vegetação, o solo fica menos sujeito a erosão (LEPSCH, 2010).

2.2. Movimentos de Massa

De acordo com Caputo (1988), os taludes podem ser de rocha ou de terra e rocha, podendo ser naturais, como as encostas, ou artificiais, que são os taludes de corte e aterros, sendo estes solos mais homogêneos e, por isto adequam-se melhor às teorias para análise de estabilidade de taludes. Segundo Massad (2003), os acidentes de deslizamento de terra

que afetam muito a população brasileira ocorrem de forma natural, pois há uma tendência dos solos das encostas a descer para atingir um nível base, denominado peneplanização.

Figura 1 – Escorregamento das encostas provocado pela saturação em água do material inconsolidado devido à subida do lençol freático em período de chuvas intensas.



Fonte: Teixeira, Toledo e Taioli (2009).

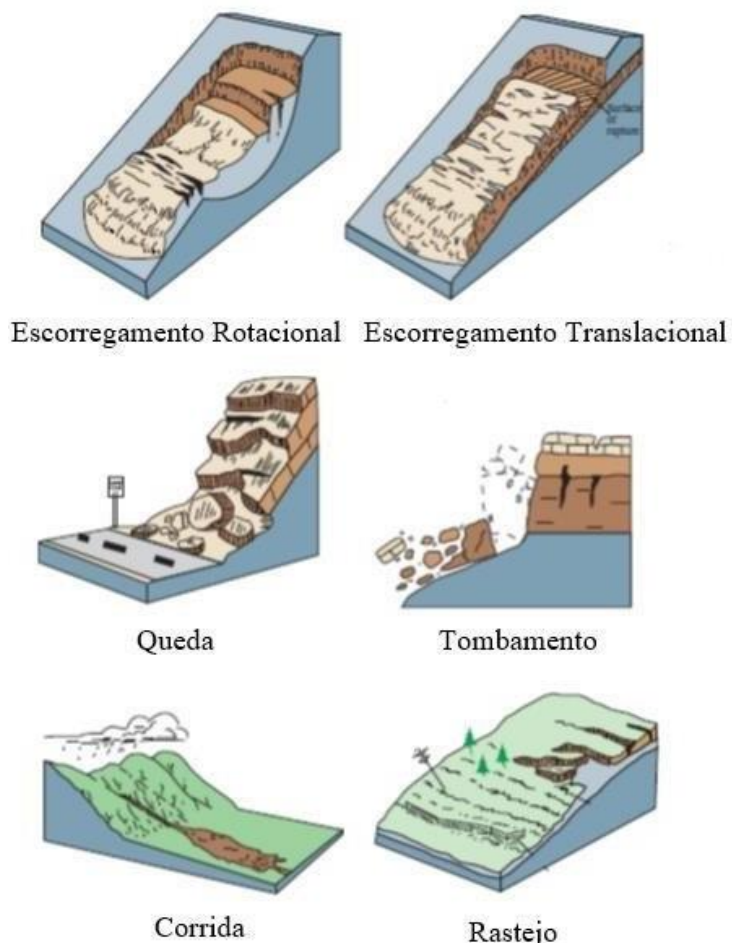
São diversas as definições de movimentos de massas na literatura. Para Queiroz (2016) a expressão é utilizada na engenharia civil geotécnica para definir qualquer tipo de ruptura e deslocamento de solos e rochas sob ação da gravidade. Guerra e Jorge (2013) comparam os movimentos de massa com a erosão do solo, dizem que apesar de ambos serem uma forma de desgaste e degradação da superfície terrestre os movimentos de massa são movimentos de solo e ou rocha encosta abaixo, sob influência da gravidade, sendo movimentos coletivos de material. Bigarella (2003) define movimentos de massa como simplesmente o deslocamento de material solo e rocha vertente abaixo sob influência da gravidade, o qual pode ser desencadeado por agentes como gelo, ar e água.

A classificação de movimentos de massa em encostas não é tão simples, pois as combinações de materiais, formas e agentes responsáveis pelos movimentos produzem condições para os diversos tipos de movimentos (SILVEIRA,2016). A classificação por

Varnes (1978) é a mais utilizada em todo mundo. Segundo o autor, movimentos considerados são quedas (*falls*), tombamentos (*topples*), escorregamentos (*slides*), espalhamentos (*lateral spreads*), corridas (*flows*) e complexos (*complex*), e os materiais

envolvidos são rocha ou solo, sendo esse último subdividido de acordo com a granulometria (Varnes, 1978). Folharini (2019) adiciona ainda os rastejos, movimentos constantes de velocidades muito baixas.

Figura 2 - Classificação dos movimentos de massas.



Fonte: Folharini (2019).

Alguns fatores podem acelerar o processo de movimentos de massa. Bigarella (2003) diz que os movimentos de massa dependem da estrutura geológica, da declividade da vertente, do regime de chuvas, da perda de vegetação e da atividade antrópica. Guerra e Jorge (2013), em um estudo feito em Ubatuba (SP), concluem que as encostas íngremes e as chuvas torrenciais, que em especial caem no verão, são componentes importantes para entender o problema. Guidicini e Nieble (1984) relatam que as florestas desempenham um papel importante na proteção do solo e que o desmatamento pode causar além do aparecimento da erosão, o movimento coletivo de solo. Guidicini e Nieble (1984) ainda ressaltam que a atuação da floresta se dá no sentido de reduzir a intensidade da ação dos agentes do clima no maciço natural, favorecendo a estabilidade das encostas.

Guerra e Jorge (2013) definem que a resistência ao cisalhamento do solo pode reduzir na presença de água ou gelo até atingir o comportamento plástico fluido, o que pode tornar o movimento de massa mais catastrófico. Chioffi (2013) ressalta que esse excesso de água livre no material é geralmente observado durante ou logo após estações chuvosas. Hart (1986) ressalta que os movimentos de massa são resultado da força de cisalhamento nas encostas, causada pela gravidade, peso do material e água no solo, que consegue superar a resistência dos materiais.

2.3. Teoria de Equilíbrio Limite

Guidicini e Nieble (1984) afirmam que as propriedades mais significativas em problemas de estabilidade de encostas são o ângulo de atrito (ϕ) e a coesão (c) dos solos e de rochas, e que a tensão cisalhante (τ), necessária para provocar deslizamento, aumenta com o aumento da tensão normal (σ) (Equação 1).

$$r = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad \text{Equação 1}$$

Para análise da estabilidade de taludes pelo método do equilíbrio-limite o material deve ter um comportamento rígido-plástico e as equações de equilíbrio elástico devem ser válidas até a eminência de ruptura, apesar do processo ser dinâmico e o coeficiente de segurança (FS) constante ao longo da linha de ruptura (MASSAD, 2003) (Equação 2). O fator de segurança sintetiza a relação de equilíbrio (FIORI, 2015) (Tabela 1).

$$FS = \frac{\text{Esforços resistentes}}{\text{Esforços solicitantes}} \quad \text{Equação 2}$$

Tabela 1 - Classificação do talude em função de FS.

Fator de Segurança (FS)	Estabilidade relativa
FS < 1	Instável (ruptura)
FS = 1	Equilíbrio Instável (iminência de ruptura)
1 < FS < 1,5	Estabilidade incerta
FS >= 1,5	Estável

Fonte: adaptado de Ferreira (2012).

Para taludes espessos de material homogêneo, pode-se empregar algumas variações do Método de Equilíbrio Limite, como: método de Fellenius, método de Bishop Simplificado e método de Morgenstern-Price (MASSAD, 2003). Fellenius desenvolveu o

método conhecido como método sueco ou das fatias, em que define-se uma superfície potencial de escorregamento de seção circular, posteriormente dividida em fatias verticais. Em seguida, faz-se a análise estática do volume de material situado acima da superfície, geralmente no plano bidimensional (GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

Massad (2003) apresenta o cálculo do fator de segurança para os métodos de Fellenius e de Bishop Simplificado pela Equação 3. Os parâmetros podem ser melhor visualizados na Equação 3.

$$F = \frac{\sum c' \cdot l + N' \cdot \text{tg } \Phi'}{\sum (P \cdot \text{sen } \theta)} \quad \text{Equação 3}$$

Onde,

N é a força normal efetiva atuante na base da lamela,

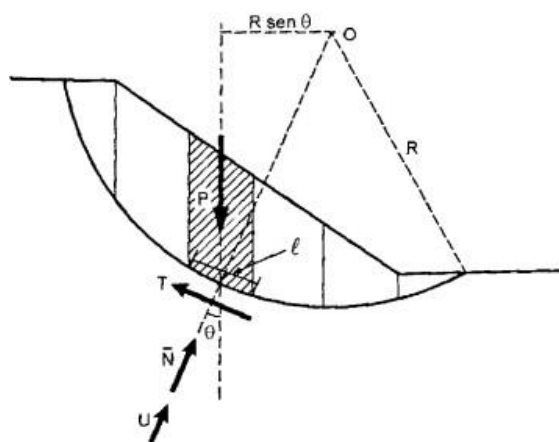
P é o peso da lamela,

l é o comprimento da base da lamela,

c' é a coesão do material

Φ é o ângulo de atrito do material

Figura 3 – Método das lamelas.



Fonte: Massad (2003).

Para aplicação dos métodos é necessário o conhecimento das forças normais às bases das lamelas (N). Para o método de Fellenius, faz-se o equilíbrio das forças na direção da normal à base da lamela, na direção do raio do círculo de ruptura. Já no método de Bishop Simplificado, o equilíbrio das forças é feito na direção vertical.

O método de Morgenstern e Price consiste no método de análise de estabilidade de taludes no qual todas as condições de equilíbrio e de fronteira são satisfeitas e a superfície de ruptura poderá tomar qualquer forma. É também uma aplicação do método

das fatias, e exige cálculo computacional derivado do complexo processo iterativo (FREITAS, 2011).

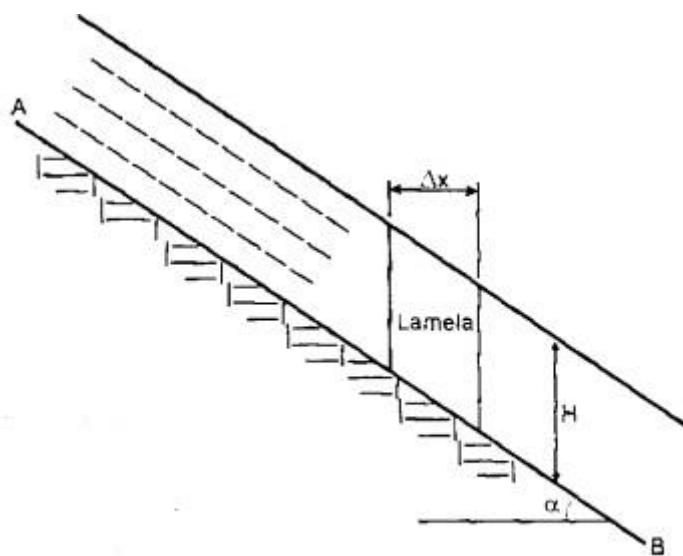
Massad (2003) ainda mostra que logo após o lançamento de um aterro pode-se determinar a poropressão (u) em um ponto qualquer, a uma profundidade z , através do parâmetro apresentado na Equação 4. Em que σ_v é o acréscimo de tensão total no ponto.

$$B = \frac{u}{\sigma_v} \quad \text{Equação 4}$$

Chiossi (2013) ressalta que, em períodos chuvosos, o peso da encosta aumenta devido à saturação do material. O autor também menciona como fatores instabilizantes as sobrecargas na crista do talude, como em rodovias, ou cortes no pé da encosta, em que o suporte ou equilíbrio lateral é retirado.

No caso de taludes infinitos, definidos por encostas naturais de grande extensão, com centenas de metros, e pelo manto reduzido de solo, emprega-se uma rede de fluxo essencialmente paralela ao talude (Figura 4) (MASSAD, 2003).

Figura 4 – Talude infinito: rede de fluxo paralelo ao talude.



Fonte: Massad (2003).

2.4. Problemas provocados por voçorocas e movimentos de massa

Devido ao crescimento urbano e sem precaução com o uso e a ocupação dos solos, surgiram muitos impactos devidos a esse modelo de crescimento (MOURA, 2011). Segundo Tucci (2001) a urbanização tem impactos diretos na drenagem urbana, como a ocupação de áreas impróprias (principalmente várzeas de inundação e cabeceiras

íngremes) e ocupação intensa e adensada dificultando a construção de canalizações e eliminando áreas de infiltração e armazenamento.

Tucci (2001) ainda fala que a ocupação do solo deve ser feita no sentido de jusante para montante e, quando não é assim feita, causa enchentes, a desvalorização das propriedades e prejuízos periódicos. Levando em consideração as enchentes, a população à jusante é a que sofre os maiores prejuízos.

Para Wild (1993), dentre as principais causas da erosão do solo estão as pressões exercidas pelas atividades humanas; com o aumento da população mundial, é requerida uma área cada vez maior de solo para as atividades de cultivo e criação de animais. O autor adiciona às principais causas o desmatamento em decorrência dessas e de outras atividades. Segundo Guerra e Jorge (2013) a erosão do solo não é um transtorno apenas para as áreas em que ocorre, mas também pode causar assoreamentos e poluição dos rios, lagos e açudes em que os sedimentos se depositam, estendendo a área de influência.

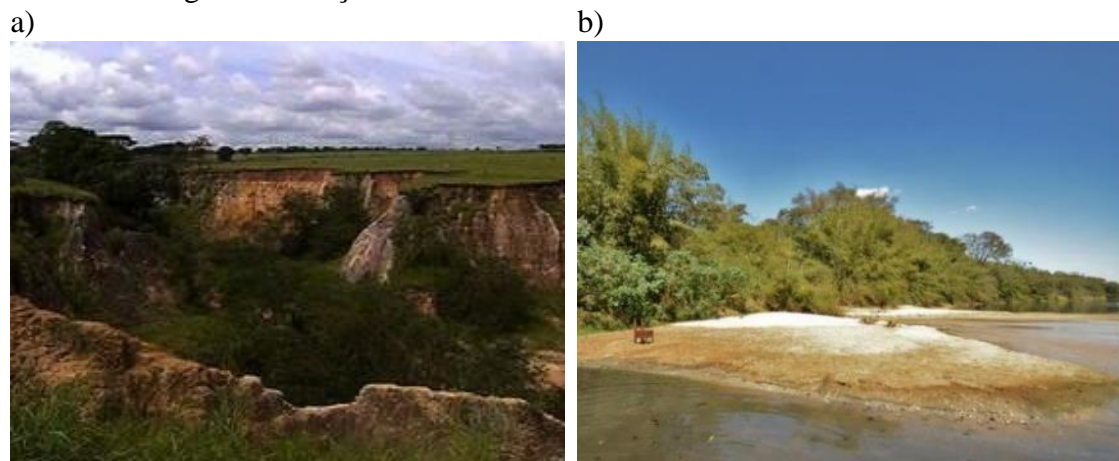
As voçorocas advindas de um processo acelerado da erosão dentro do perímetro urbano são devidas a fatores como desmatamento, as faltas de planejamento urbano, pavimentação e galerias pluviais e de esgoto ou, então, ao mal dimensionamento destas galerias (GUERRA E JORGE, 2013).

Os transtornos causados por voçorocas por muitas vezes se tornam processos judiciais. No Córrego Suzigan, situado entre os municípios de Santa Bárbara d'Oeste (SP) e Americana (SP), aconteceu um processo erosivo devido ao lançamento das águas pluviais gerados pelas áreas urbanas dessas duas cidades, originando uma voçoroca (GOMES, 2020) (Figura 5a). Estima-se que a voçoroca tenha 600 metros de extensão e largura variando entre 20 e 150 metros, com taludes de até 80 graus de inclinação, além de altura do talude variando entre 5 e 21 metros de profundidade. A erosão atingiu o lençol freático, provocando assoreamento do Rio Piracicaba e causando prejuízos para seu entorno (Figura 5 b).

Em matéria, G1 (2014) relata que houve uma decisão judicial para que os governos municipais das cidades envolvidas adotassem medidas para solucionar as causas da erosão na região, por meio de uma estrutura tal que interrompa o processo erosivo, e recompor o dano ambiental causado pelas águas pluviais sem tratamento no local.

Guerra e Jorge (2013) ainda afirmam que os possíveis movimentos de massa em áreas autorizadas para construção civil são responsabilidade dos governos locais, que devem providenciar levantamentos e estudos prévios em relação à ocupação, aos tipos de solos e às encostas que serão ocupadas.

Figura 5 – Voçoroca entre Americana e Santa Bárbara d'Oeste.



Fonte: G1 (2013).

Para Guerra e Jorge (2013) é possível elaborar mapas de riscos, classificando as áreas como áreas de altíssimo, alto, médio e baixo risco de movimentos de massa levando em conta a geomorfologia, geologia e geotecnia das áreas em estudo. Além disso, é possível analisar quais obras de engenharia podem ser feitas para evitar possíveis catástrofes ambientais e assegurar as famílias já ocupantes do local.

Nesse contexto, Soares (2015), em um estudo feito para a cidade de Lavras, fez uma ação para apurar as áreas de maiores riscos e assegurar a segurança das famílias afetadas. Em estudo de campo, a fim de avaliar os setores de risco de cada região habitada e com intuito de preservar as vidas dos moradores da cidade, foram utilizados os Quadros 1 e 2 para classificar as áreas segundo os graus de riscos de deslizamento e de inundações.

Quadro 1 – Classificação dos graus de risco a movimentos de massa.

Graus de Risco	Descrição
R1 Baixo	Não há indícios de desenvolvimento de processos destrutivos em encostas e margens de drenagens. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos.
R2 Médio	Observa-se a presença de alguma (s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens, porém incipiente(s)). Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.
R3 Alto	Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes etc.) Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.
R4 Muito Alto	As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2004).

Quadro 2 - Classificação dos graus de risco a inundação.

Graus de Risco	Descrição
R1 Baixo	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos e baixa frequência de ocorrência (sem registros de ocorrências nos últimos 5 anos).
R2 Médio	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos e média frequência de ocorrência (1 ocorrência significativa nos últimos 5 anos).
R3 Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos e média frequência de ocorrência (1 ocorrência significativa nos últimos 5 anos), envolvendo moradias de alta vulnerabilidade
R4 Muito Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos e alta frequência de ocorrência (pelo menos 3 ocorrências significativas nos últimos 5 anos), envolvendo moradias de alta vulnerabilidade.

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2004).

Foram utilizadas evidências de movimentos de massas, como: trincas nas paredes ou em muros, trincas longitudinais em acessos, depressão de pavimentos, presença de voçorocas, presença de areia lavada em canalizações abertas, inclinação e tombamento de obras, deformação de muros de contenção, descalçamento de fundações, entre outras. Os fatores históricos de acidentes passados também foram levados em consideração (Figura 6).

Figura 6 – Evidências de riscos classificados como riscos altos ou muito altos.

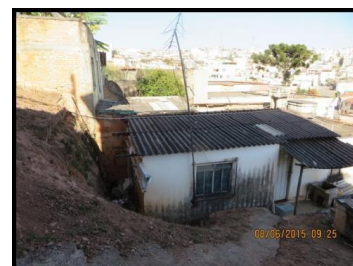
a) Espessura centimétrica das rachaduras no interior da casa.



b) Degrau de abatimento de aproximadamente um metro.



c) Casa sob talude de corte.



Fonte: Soares (2015).

2.5. Métodos de Estabilização de Taludes de Solo

Quando o maciço apresenta fatores de segurança inferiores aos exigidos por norma podem ser utilizadas estruturas de contenção, que promovem estabilidade e evitam escorregamentos e outras movimentações do solo (TEIXEIRA, 2011). Carvalho (1991) aponta que a solução para a estabilidade do talude deve ser embasada em estudos

cuidadosos, que consideram as características do meio físico e os processos de instabilização envolvidos.

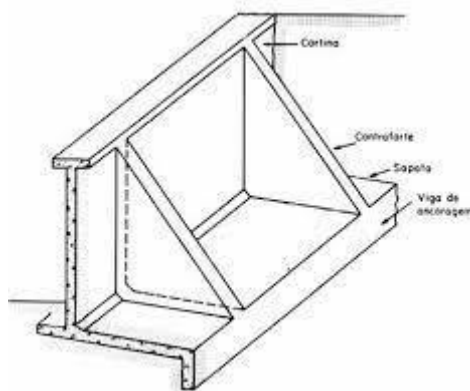
De acordo com Teixeira (2011), os principais tipos de contenção são os muros de gravidade (concreto armado, concreto ciclópico), muro de flexão ou contraforte (concreto armado), as que trabalham com ancoragem (solo grampeado, cortina atirantada), ou ainda crib wall, composto por peças de madeira, ou de aço, ou concreto armado pré-moldado, preenchidos com solo entre as peças (Figura 7).

Figura 7 – Tipos de contenção.

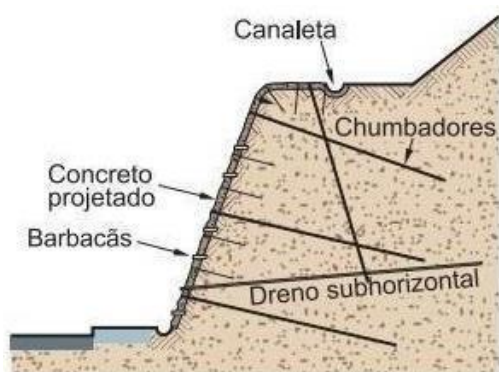
a) Muro de gravidade: concreto armado ou ciclópico.



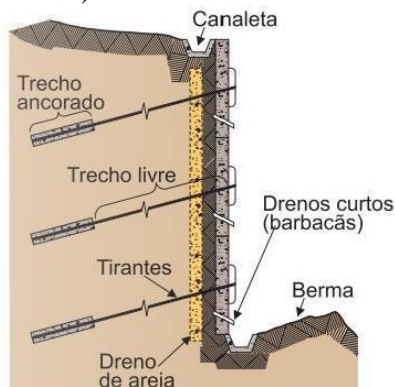
b) Muro de flexão ou contraforte: concreto armado.



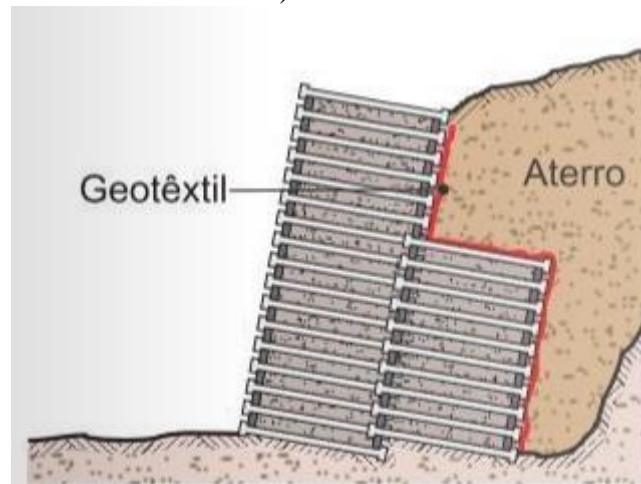
c) Solo grampeado.



d) Cortina atirantada.



e) crib wall



Fonte: Adaptado de Téchne (2017).

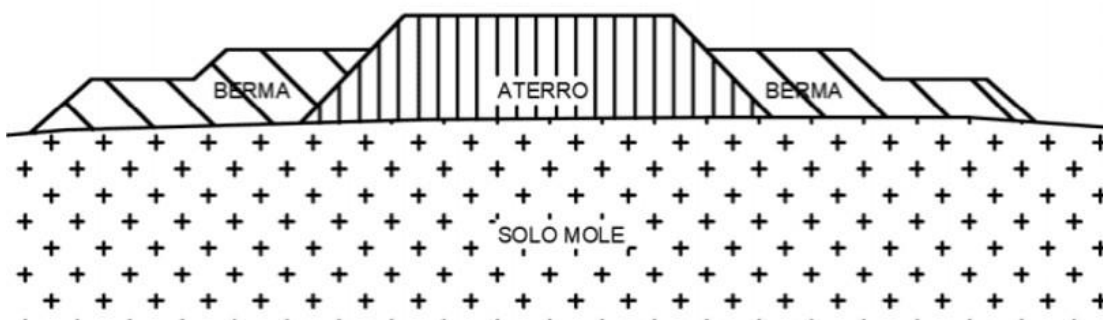
De acordo com Ehrlich (2002), o solo grampeado se configura como um método de reforço “in situ”. Estes elementos de reforço são posicionados horizontalmente ou inclinados no maciço, de forma a introduzir esforços resistentes de tração e cisalhamento (ORTIGÃO *et al.*, 1992). Sua função é minorar os deslocamentos do maciço terroso pelo acréscimo de forças internas contrárias ao sistema natural de acomodação de massa (SILVA *et al.*, 2001). Em Ortigão (1992) a técnica de solo grampeado como estrutura de reforço, deve executada em fases sucessivas de corte do terreno e colocação do grampo, do topo em direção ao pé do talude. Nesse caso, a massa do solo é gradualmente reforçada durante a construção. Se o material da região escavada for estável, os grampos poderão ser imediatamente instalados, caso contrário, deve-se aplicar uma fina camada de concreto projetado, a fim de evitar que o talude sofra deslocamentos inadmissíveis.

As bermas de equilíbrio representam um dos reforços utilizados para aumentar o fator de segurança (FS) (OLIVEIRA, 2019).

De acordo com Perboni (2003), os métodos de estabilização física envolvem a alteração da geometria do sistema ou o uso de equipamentos auxiliares, como as bermas de equilíbrio, que são usadas, por sua vez, como elementos laterais de compensação de tensões causadas por sobrecargas em fundações de solo mole.

As bermas são responsáveis por criar um momento contrário ao de ruptura ocasionado pelo peso do aterro. Quando o solo de fundação não permite que um aterro seja alteado rapidamente, utiliza-se a técnica de estabilidade das bermas, para que este aterro possa ser executado sem que ocorra a ruptura (PERBONI, 2003).

Figura 8 – Berma de equilíbrio.



Fonte: Sodré (2021).

2.6. Levantamento topográfico com o drone

As aplicações de fotografia aérea são muitas, tanto da própria fotografia quanto dos mapas gerados por ela. Suas aplicações são valiosas em várias áreas da engenharia, ciência e geociências, como nos setores de urbanismo, construção de rodovias e ferrovias, implantação de barragens, trabalhos portuários, cadastros fiscais, na agricultura extração de minérios, entre outros (CHIOSSI, 2013).

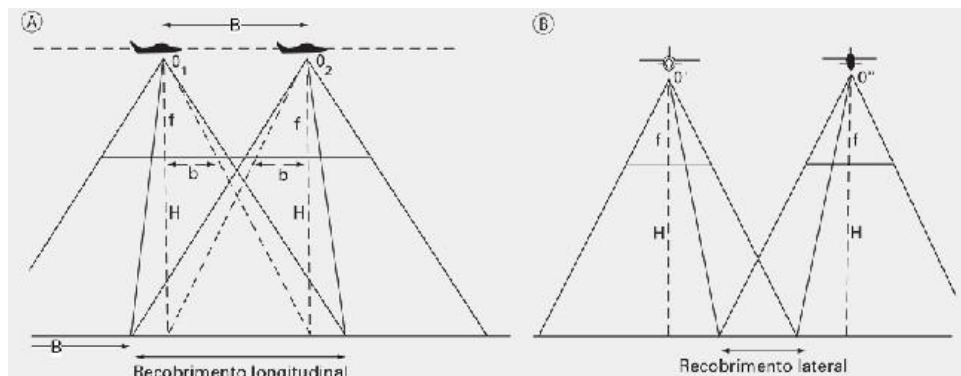
O principal objetivo da fotogrametria é a reconstrução de um espaço tridimensional, denominado espaço-objeto, a partir de um conjunto de imagens bidimensionais, chamado espaço-imagem. Para isso, são necessários pontos de controle ou de campo, para que uma vez locados no espaço-imagem seja possível reconstruir o espaço tridimensional a partir de imagens bidimensionais (COELHO e BRITO, 2007).

Para Blake (1994) a fotogrametria aérea é uma técnica bem estabelecida na engenharia para produção de mapas topográficos. Chiossi (2013) ainda cita vantagens da utilização do método, como permitir o trabalho em áreas de difícil acesso, a visualização de grandes áreas em terceira dimensão, levantamento topográfico e observação de grandes áreas em um tempo relativamente curto. Porém, quando a cobertura vegetal é tal que impede a visão do terreno vários elementos como a topografia local não terão validade, e necessitarão de um trabalho de campo intensificado (GUIDICINE e NIEBLE, 1984).

Blake (1994) discorre sobre a necessidade de um planejamento do voo, onde as fotografias utilizadas para fins de mapeamento devem ser dispostas em uma sequência regular ao longo de linhas paralelas. Chiossi (2013) adiciona que as linhas de voo paralelas devem ser equidistantes, tal que as fotografias se superponham lateral e longitudinalmente (Figura 8). Para um bom voo, Chiossi (2013) fala que a presença

excessiva de nuvens, névoa seca, chuva ou vento são um dos grandes problemas para a realização de fotografias mais nítidas, e que a posição do sol também deve ser levada em consideração, uma vez que podem ocorrer sombras no momento do levantamento; por esse motivo, o autor sugere o horário para voo entre 9h30 e 15h.

Figura 8 – Recobrimento aéreo longitudinal e lateral.

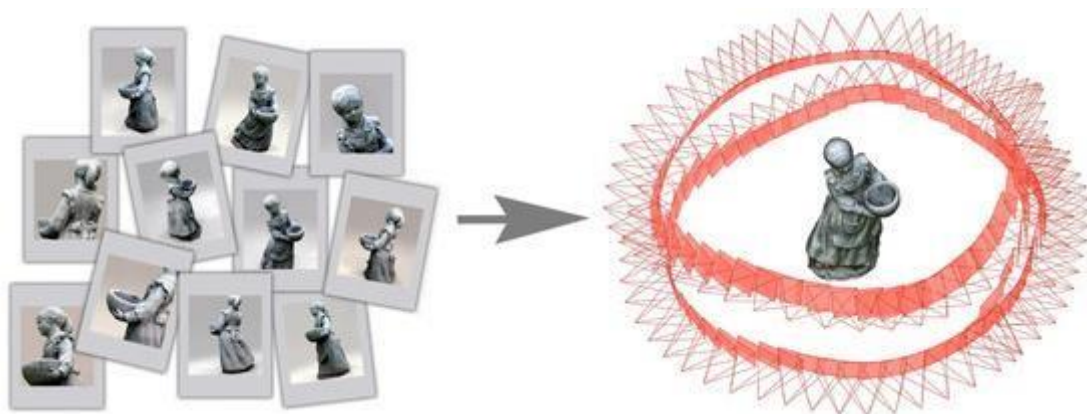


Fonte: Chiossi (2013).

Chiossi (2013) chama de mosaico fotográfico o conjunto de duas ou mais fotografias sobrepostas que apresentam pontos em comum, onde a parte em comum é recostada em uma das fotos e o objetivo é formar uma vista composta por toda a área dessas fotografias. Coelho e Brito (2007) ponderam que o número de imagens envolvidas é variável, contudo, é desejável que sejam ao menos duas e com área de superposição, com os intuitos de viabilizar a visão estereoscópica (tridimensional) e de obter maiores precisões na restituição do espaço-objeto.

A fotogrametria digital busca automatizar a fotogrametria, procura-se como ideal fazer um mapeamento automático, capaz de reconhecer automaticamente as feições do terreno, como prédios e outras construções (COELHO e BRITO, 2007). Se tratando da visão computacional, a modelagem baseada em imagem é o processo de extrair objetos geométricos e modelos de cena de imagens (TOLDO, 2013). Toldo (2013) cita o Google Earth (Google) como exemplo de aplicação, já que é possível importar seus próprios modelos para o banco de dados existente. O campo de pesquisa *Structure from motion* (SfM – Estruturas do movimento) é focado na recuperação da geometria tridimensional do local (a estrutura) quando observada por meio de uma câmera em movimento. Os dados obtidos são imagens ou vídeos, sendo o resultado esperado uma nuvem de pontos 3D genérica, que consiste em pontos chave que foram identificados e rastreados no local e um conjunto de câmeras matrizes, identificando posição e direção de cada imagem com seu respectivo quadro de referência (Figura 9).

Figura 9 – Fotogrametria digital.



Fonte: Bianco *et al.* (2018).

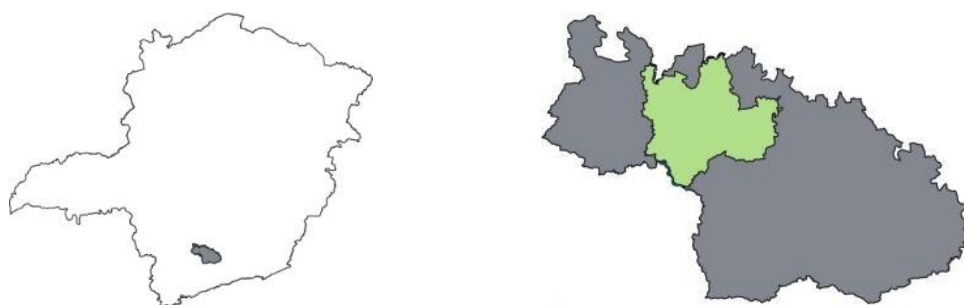
3 METODOLOGIA

3.1. Área de estudo e levantamento

O município de Lavras está localizado na mesorregião Campo das Vertentes no estado de Minas Gerais (Figura 10). A área de estudo tem aproximadamente 93.310,93 m² e compreende o voçorocamento que abrange os bairros Belo Horizonte e Monte Líbano, e está localizada na parte de trás da Prefeitura Municipal de Lavras (Figura 11).

Figura 10 – Localização da área de estudo

- a) Localização da mesorregião Campo das Vertentes no estado de Minas Gerais. b) Localização do município de Lavras no Campo das Vertentes.



Fonte: Prefeitura Municipal de Lavras (2019).

Figura 11 – Vista aérea da região.

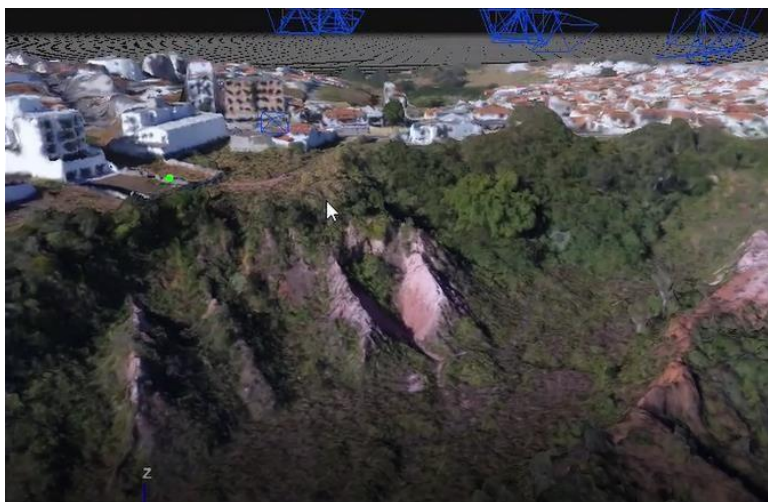


Fonte: Google Earth.

Atendendo as recomendações da bibliografia, o levantamento das imagens foi realizado no dia 02 de agosto das 2020 às 15 horas para evitar as sombras no local utilizando o VANT modelo Phantom 4 Pro V2.0. Foram feitas 126 fotos, não sendo necessário o descarte de nenhuma foto por problemas de foco, sombras ou iluminação inconsistente.

Para modelagem tridimensional e posterior levantamento topográfico foi utilizado o Software 3DF Zephir, em sua modalidade teste gratuita de 14 dias. As imagens foram importadas ao software, em que o processo de alinhamento das imagens obtidas é feito automaticamente gerando uma nuvem de pontos. Após a primeira etapa, foi então criada uma nuvem de pontos densa com o intuito de diminuir os vazios, para reproduzir de forma rigorosa a região mapeada. Por fim foi obtida uma malha texturizada para uma construção realista da foto (Figura 12).

Figura 12 – Construção realista da área no software.



Fonte: Da autora.

A fim de se ajustar a escala do modelo tridimensional, foram comparadas as medidas in loco e no modelo o comprimento de um muro existente no local (Figura 13). A distância medida em campo utilizando uma trena convencional foi de 9,32 metros e a distância medida no modelo tridimensional foi de 9,3205 m, não sendo, portanto, necessária correção de escala no software.

Figura 13 – Distância de projeto do muro.



Fonte: Da autora.

A superfície topográfica e as curvas de níveis foram geradas pelo 3DF Zephyr e exportadas para *software* de desenho. Também foram delimitadas as áreas particulares (muros), meio-fios e outras definições para fins de projeto.

3.2. Projeto arquitetônico de uso do local

Um projeto arquitetônico foi elaborado para atender as demandas de lazer da população da cidade de Lavras. O projeto foi elaborado pelo discente Breno Silva Alves e sua orientadora Prof^ª. Dr^ª. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro, conta com áreas de recreação, quadra de esportes e uma área de estacionamento. Assim foram definidos os platôs de projeto, resultando em taludes de corte e aterro (Figura 14).

Figura 14 - Projeto arquitetônico.



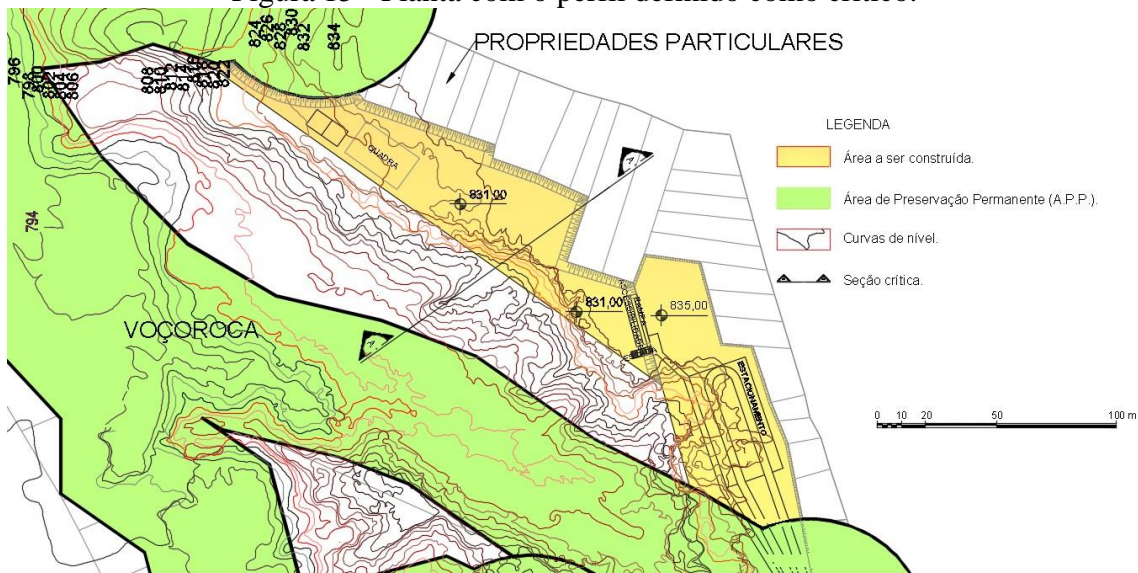
Fonte: Fonte da autora (2021).

3.3. Seções estudadas, parâmetros geotécnicos e métodos de análise

A área levantada possui mais de 90 mil m². O projeto arquitetônico engloba um trecho de aproximadamente 11.133,65 m². Foi definido o perfil com a seção geométrica mais crítica do local, levando-se em conta o maior desnível e a maior distância horizontal

de aterro existente em projeto, estendendo-se a distância de aproximadamente 75 metros sentido ao interior da voçoroca até o fim das propriedades particulares (Figura 15). Admitiu-se talude homogêneo de solo na seção crítica.

Figura 15 - Planta com o perfil definido como crítico.



Fonte: Da autora.

De acordo com Silva (2018), um dos tipos de solos presentes na paisagem da área estudada é o Argissolo Vermelho-amarelo. Os parâmetros de resistência do solo natural para a análise de estabilidade de taludes foram obtidos de Rocha (2002), que submeteu amostras indeformadas retiradas a uma profundidade de -0,03 m da superfície a ensaios de cisalhamento direto saturados. Admitiu-se argissolo vermelho-amarelo distrófico típico (PVAd). Da mesma maneira, foram obtidos parâmetros de resistência usuais para o solo de aterro, admitido constituído de um material arenoso como utilizado na metodologia de Dominoni (2011) (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros de resistência dos solos natural e de aterro.

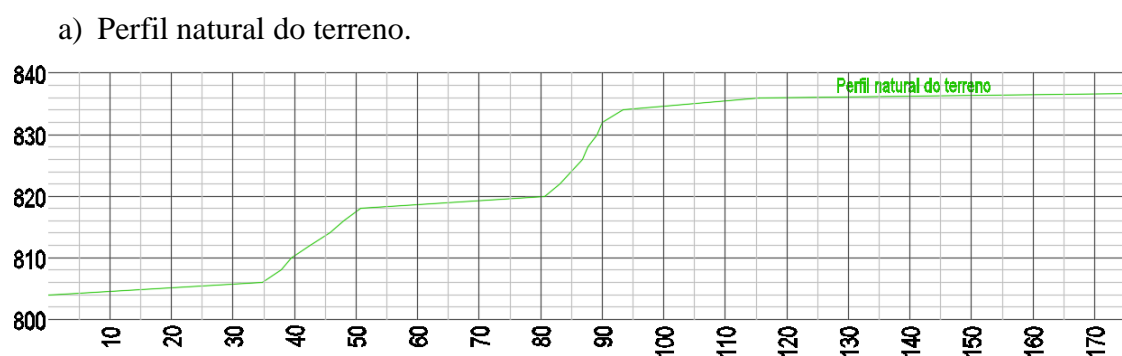
Parâmetro	Solo natural (Rocha, 2002)	Aterro (Dominoni, 2011)
ϕ (°)	7,80	30
c (kPa)	42,39	10
γ (kN/m ³)	12,65	17

Fonte: Adaptado de Rocha (2002) e Dominoni (2011).

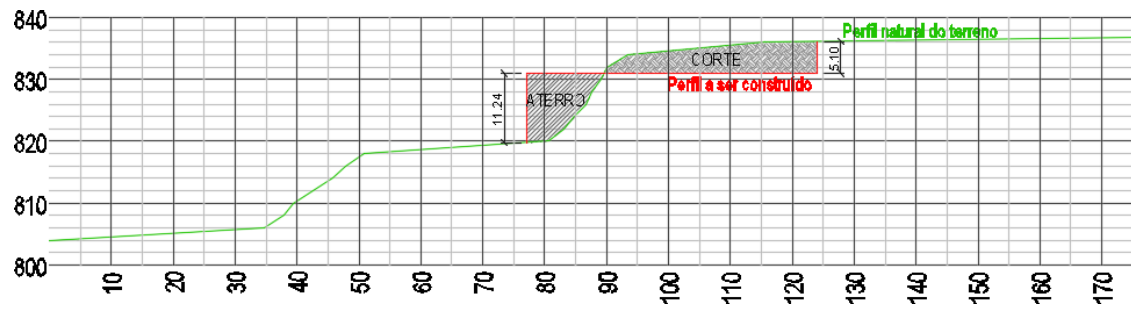
Utilizou-se o *software* de análise de estabilidade de taludes Slope/W, parte do pacote GeoStudio, em sua modalidade teste gratuita de 14 dias. O *software* permite a análise através do método das fatias, havendo em sua base de dados diversos métodos da literatura, como Morgenstern & Price (1965), Spencer (1967), Janbu (1973), Bishop simplificado (1955), dentre outros. Foi escolhido o método de Morgenstern & Price rigoroso, como indicado por Vecci (2018). O formato da Superfície Potencial de Ruptura escolhido foi meia senóide com número de 100 fatias e um total de 2000 iterações. Foi também aplicado o método de superfície de entrada e saída no programa, que define as porções a esquerda e direita da superfície do terreno onde superfícies de pesquisa possam entrar e sair. Os parâmetros do solo natural e de aterro foram incluídos no *software* com modelo do material de Mohr-Coulomb com entradas de ângulo de atrito, coesão e peso específico.

A partir da seção crítica considerada foram feitas as análises de estabilidade para algumas proposições: (i) solo natural (Figura 16 a), (ii) perfil com corte e aterro relativos ao projeto arquitetônico (Figura 16 b), sem contenções. É importante frisar que, neste perfil houve a criação de um talude vertical de aterro com desnível de 11,24 m, além de um talude de corte vertical de 5,10 m de altura. Após, foram propostas soluções de estabilização deste último perfil visando um FS de 1,5, preconizado pela norma NBR 11682 (ABNT, 2019) para áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, locais urbanos em que há a possibilidade de elevada concentração de pessoas.

Figura 16 - Perfil natural do terreno (medidas em metros).



b) Perfil arquitetônico.



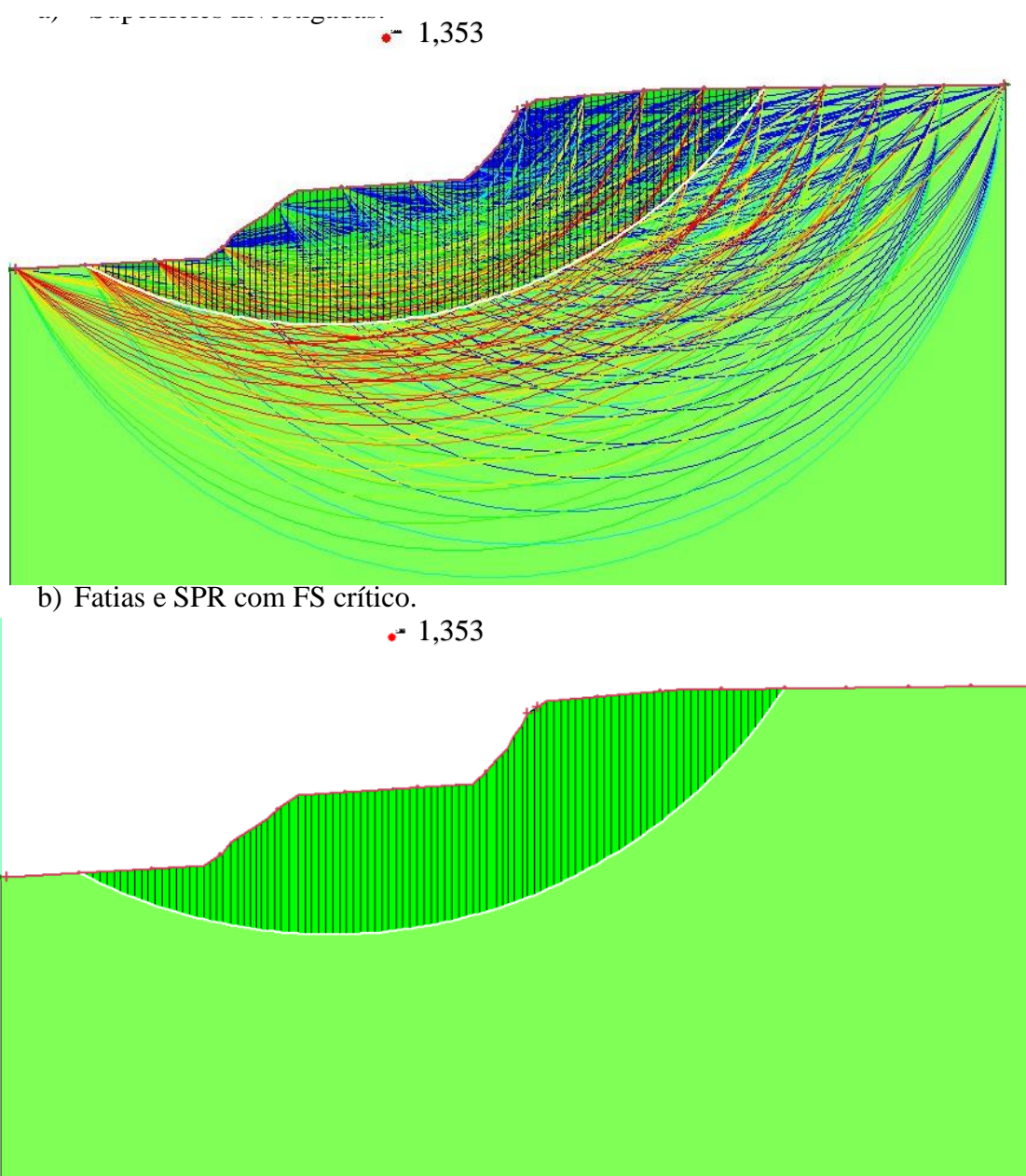
Fonte: Da autora.

4 RESULTADOS

4.1. Seção com geometria natural

O FS crítico obtido para a seção natural do terreno foi de 1,353. Segundo a NBR 11682 (ABNT, 2009), este valor é considerado nível de segurança contra danos materiais e ambientais baixo e um nível de segurança baixo contra danos a vidas humanas. As superfícies investigadas e representações das fatias e a Superfície Potencial de Ruptura (SPR) obtidas são representadas nas Figura 17 a e b, respectivamente. Pode-se perceber uma ruptura global como sendo a situação mais crítica.

Figura17 – Análises de estabilidade do talude de solo natural.

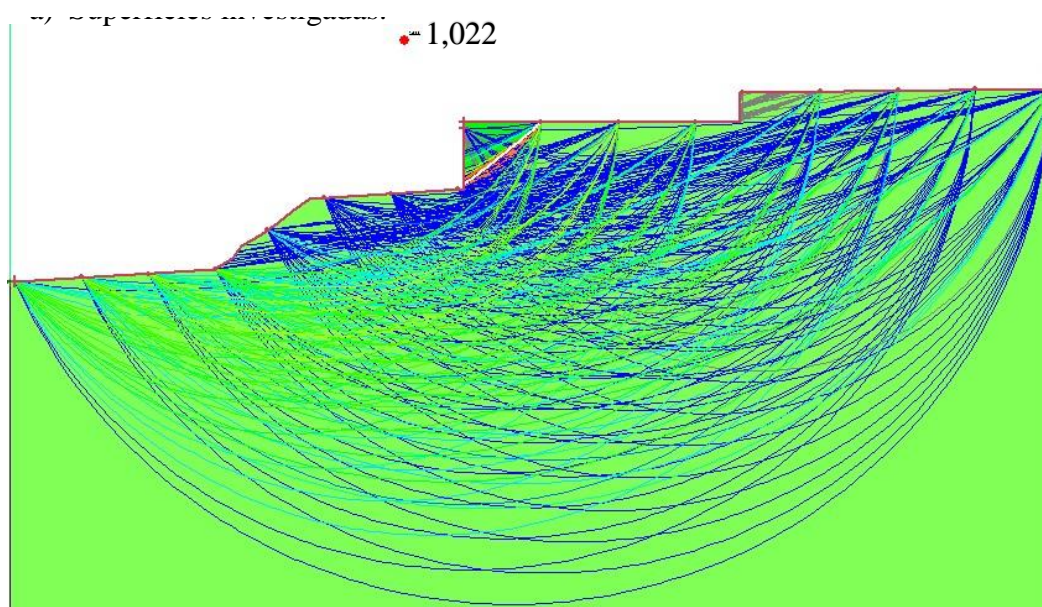


Fonte: Da autora.

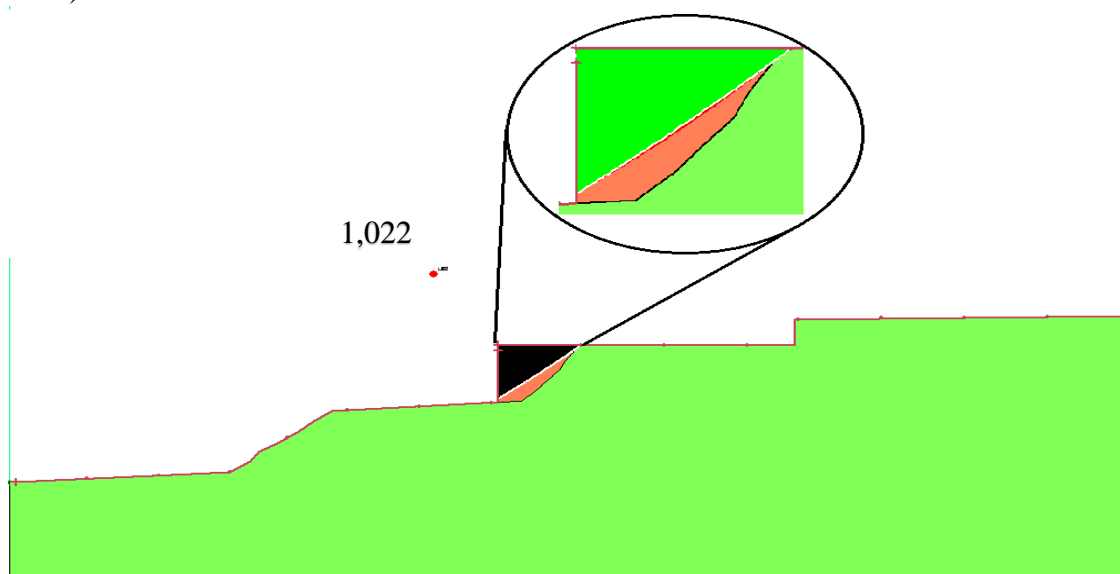
4.2. Seção projeto arquitetônico

Para a seção do projeto arquitetônico com taludes de corte e aterro sem contenções, o FS crítico foi de 1,022, uma redução significativa da estabilidade do talude natural devida às intervenções necessárias à implementação do projeto arquitetônico ($\approx 33\%$). O valor de 1,022 corresponde a um nível de segurança que não está enquadrado em norma, sendo o menor FS considerado de 1,2 (NBR 11682, 2009). As superfícies investigadas e representações das fatias e a SPR obtidas são representadas nas Figura 18 a e b, respectivamente. A superfície apresenta uma ruptura local que engloba apenas a área de aterro.

Figura 18 – Análises de estabilidade do projeto arquitetônico, sem contenção.



b) Fatias e SPR com FS crítico.



Fonte: Da autora.

4.3. Estabilização da seção

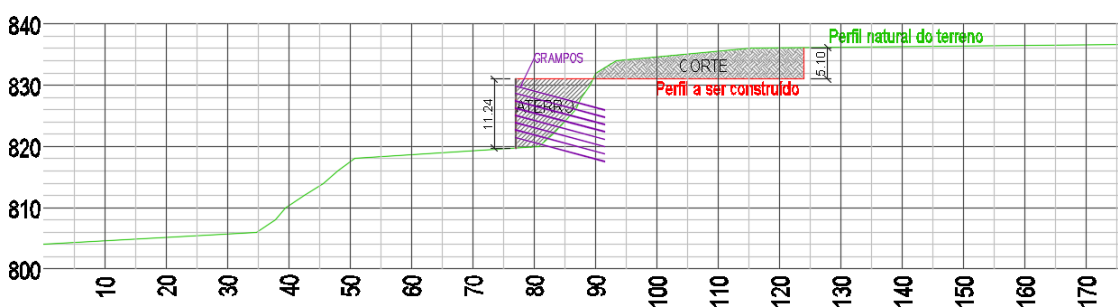
De forma a aumentar o FS da seção crítica para o mínimo exigido em norma (1,5), foi proposta a instalação de uma cortina em solo grampeado no talude de aterro. Foi feito um recobrimento de 10 cm de espessura de concreto de alta resistência, em que o único parâmetro de entrada no programa é o peso específico do material, considerado 25 kN/m³.

Foi utilizada para solo grampeado a metodologia apresentada por Souza *et al.* (2019), em que, para resistir aos esforços de cisalhamento a inclinação dos grampos com a horizontal é feita entre 10 e 20 graus, sendo então utilizada uma inclinação de 15 graus para o trabalho. O espaçamento entre os grampos deve estar entre 1,20 e 1,80 e nunca menor que 1, utilizou-se um espaçamento entre os grampos de 1,40 tanto para horizontal (S_H) quanto para a vertical (S_V). O espaçamento do ponto mais alto da escavação até a primeira fileira de grampos (S_{V0}) deve estar entre 0,60 e 1,0 metros, para o trabalho foi utilizado um S_{V0} de 0,80 metros e para o espaçamento entre a última fileira de grampos e o pé do talude (S_{VN}) deve ser entre 0,60 e 0,90 metros, sendo sempre menor que S_{V0}, foi adotado o valor de 0,64 m. Totalizando 8 grampos na vertical. O comprimento dos grampos (L) deve ter a dimensão entre 0,5 e 1,2 metros da altura de escavação H, assim, para o trabalho o comprimento dos grampos foi de 15 metros para ultrapassar a face de aterro. Para resistência a tração admissível (R_{Tadm}) é utilizada conforme a Equação 5, utilizou-se barras de ϕ 20 mm (Figura 19).

$$R_{Tadm} = f_{yd} \times A_{aço} \quad \text{Equação 5}$$

$$R_{Tadm} = \frac{500 \times 1000}{1,15} \times \frac{\pi \times 0,02^2}{4} = 136,6 \text{ kN}$$

Figura 19 - Perfil com solo grampeado (medidas em metros).



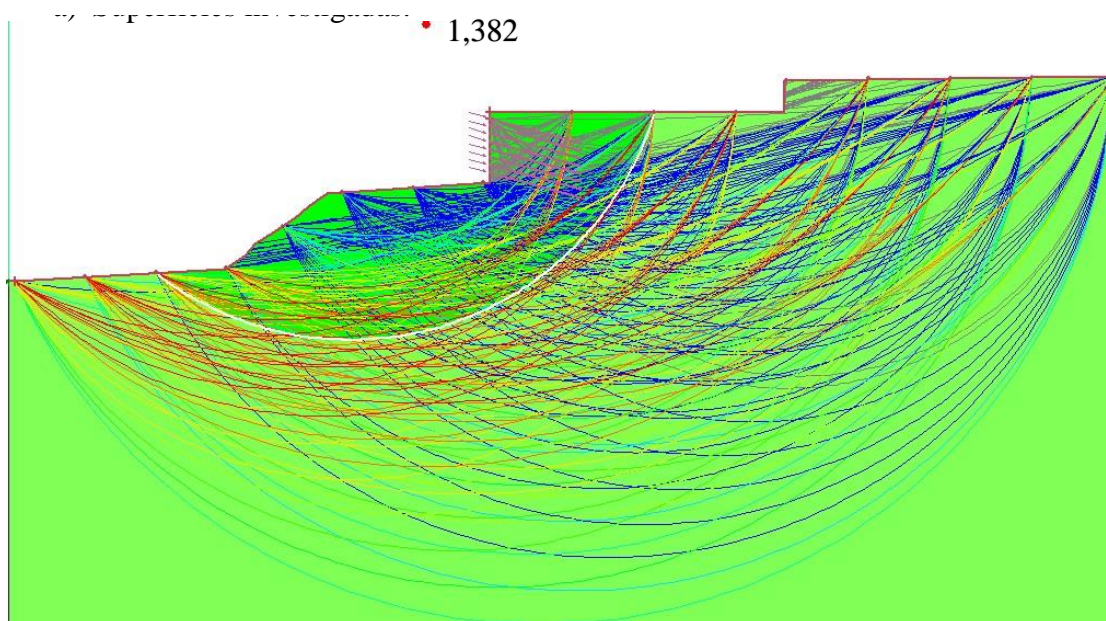
Fonte: Da autora.

O FS crítico obtido para a seção do projeto arquitetônico com solução de estabilização em solo grampeado no talude de aterro foi de 1,382. Segundo a NBR 11682 (ABNT, 2009), este valor é considerado nível de segurança baixo e um nível de segurança baixo contra danos a vidas humanas, logo, mais intervenções se fazem necessárias. As representações das fatias e a Superfície Potencial de Ruptura (SPR) obtidas e as superfícies estudadas são representadas nas Figura 20 a e b, respectivamente. Pode-se perceber que o talude corte não mais participa da SPR.

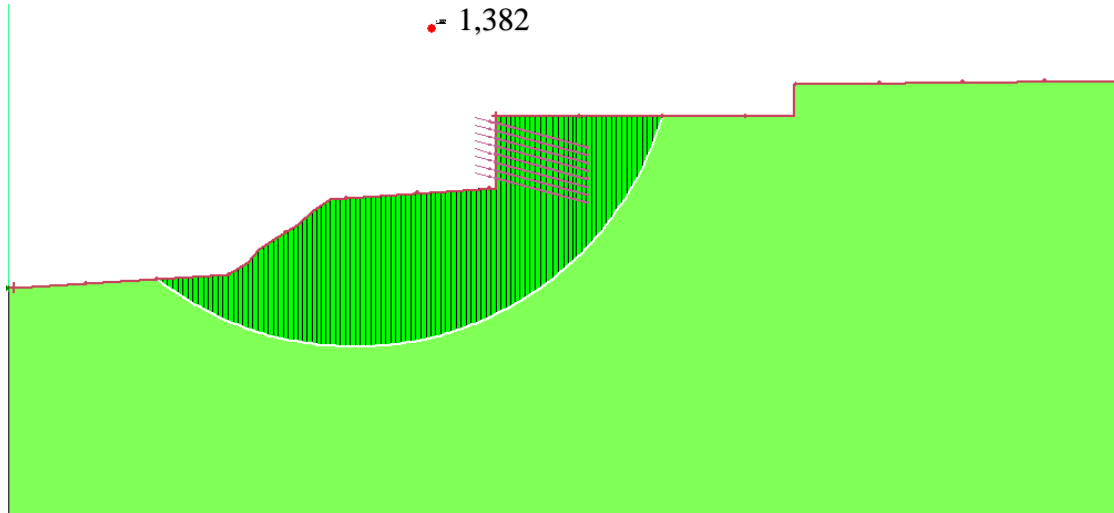
Foi, então, proposta, a construção de uma berma de equilíbrio para o balanceamento do pé do talude (Figura 21), com 10,81 metros de altura, 35,27 metros de extensão de topo e inclinação da face do talude de 33 graus com a vertical. Foram utilizados os mesmos parâmetros de resistência do solo de aterro.

O FS crítico obtido para a seção com solo grampeado e berma de equilíbrio foi de 1,998, considerado pela norma NBR 11682 (ABNT, 2009) um FS alto. As superfícies investigadas, as representações das fatias e a SPR obtidas são representadas na Figura 22 a e b, respectivamente. Neste caso, a SPR não mais engloba a região da berma de equilíbrio, tendo a ruptura passado de global para local (apenas na região do talude de aterro). Contudo, é importante pontuar que, mesmo a ruptura não mais sendo global, a estabilidade global do maciço depende da existência desta berma, sendo projetos futuros condicionados a sua não retirada.

Figura 20 – Análises de estabilidade para o projeto arquitetônico, com solo grampeado.



b) Fatias e SPR com FS crítico.



Fonte: Da autora.

Figura 21 – Perfil com solo grampeado e berma de equilíbrio (medidas em metros).

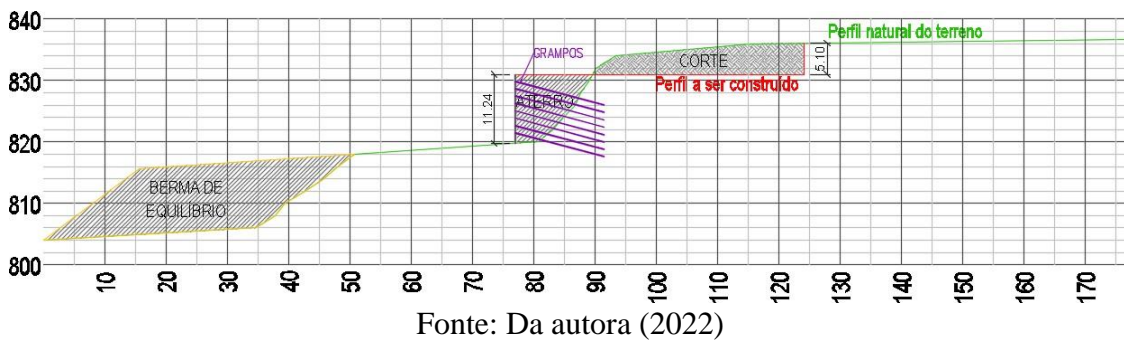
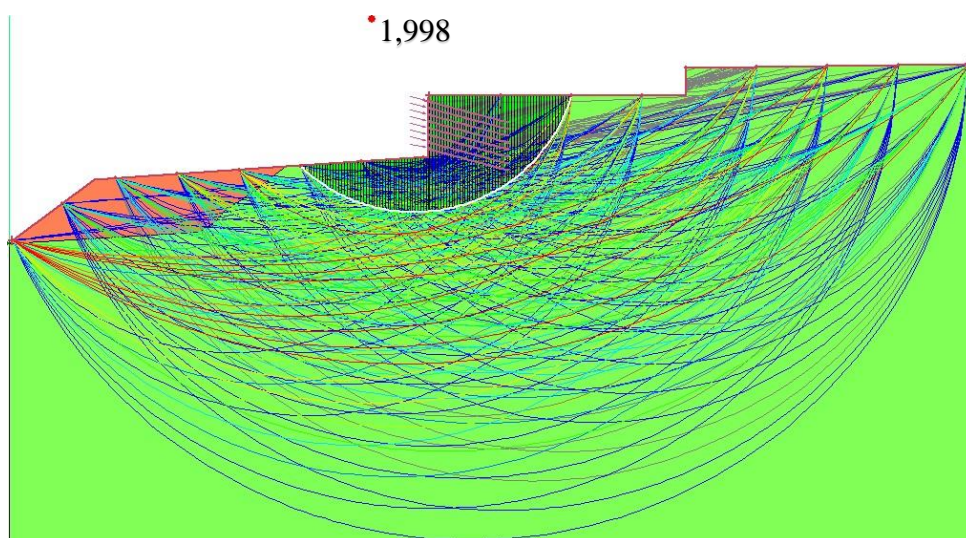
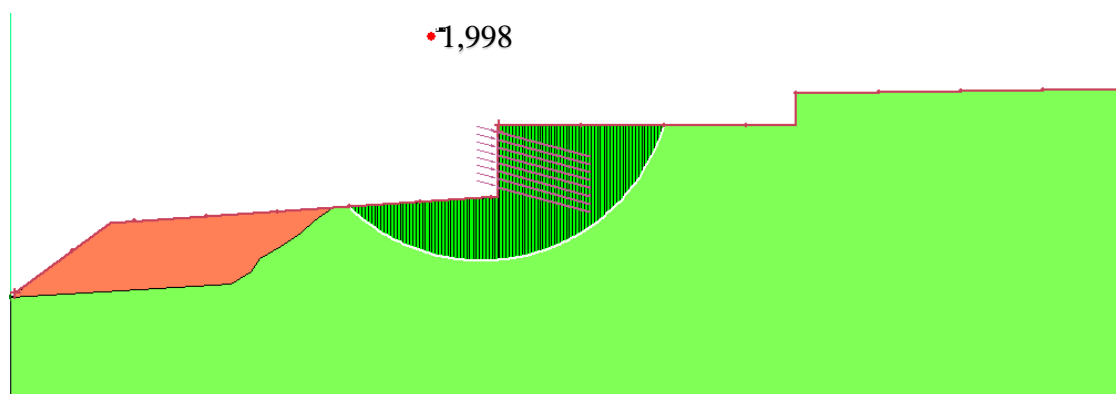


Figura 22 - Análises de estabilidade para o projeto arquitetônico, com solo grampeado e berma de equilíbrio.

a) Superfícies investigadas.



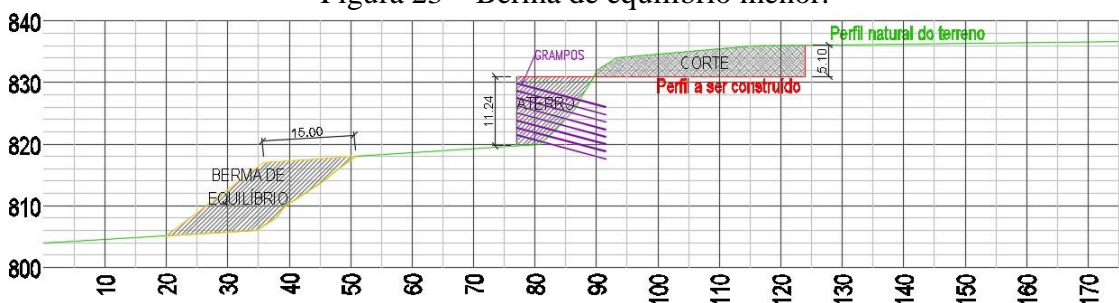
b) Fatias e SPR com FS crítico.



Fonte: Da autora.

Tendo em vista que o FS mínimo exigido pela norma NBR 11682 (ABNT, 2009) é de 1,5 e, de forma a prezar pela economia de recursos, propôs-se a redução gradual da extensão da berma de equilíbrio, de forma a obter um FS crítico próximo de 1,5. Tal configuração foi encontrada para uma extensão de 15,0 m do topo da berma, mantendo-se as demais configurações de altura e inclinação da face (Figura 23).

Figura 23 – Berma de equilíbrio menor.

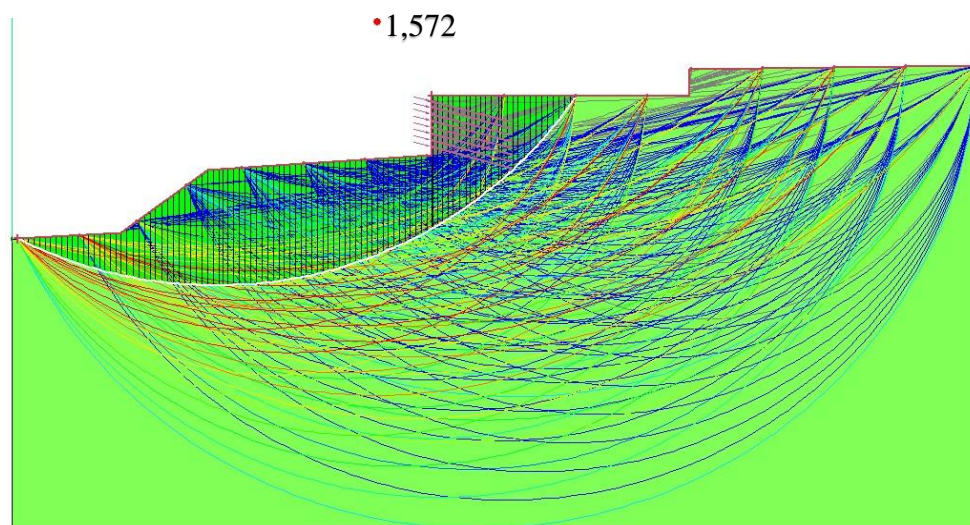


Fonte: Da autora.

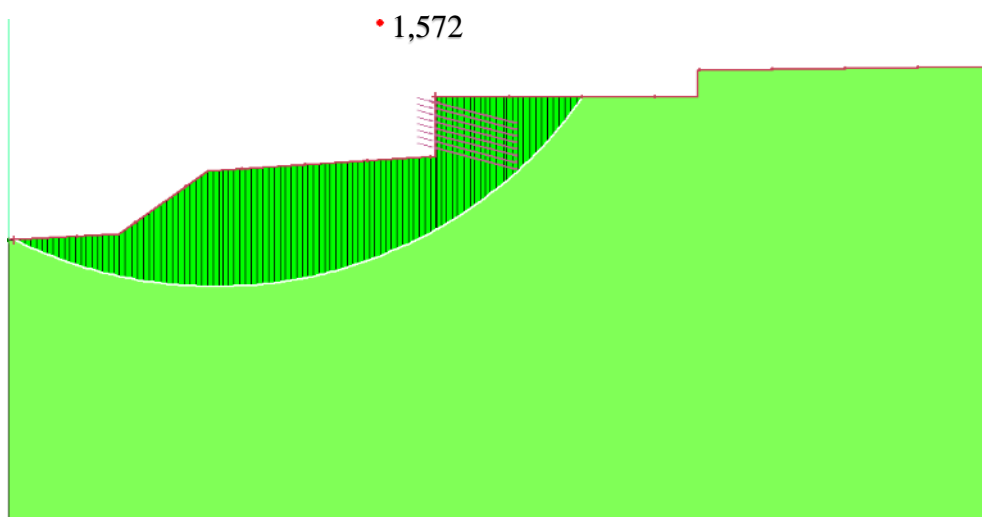
O FS crítico obtido para a seção de projeto arquitetônico, com taludes de corte e aterro e soluções de estabilização em grampos e berma de equilíbrio foi de 1,572, valor considerado nível de segurança alto segundo a NBR 11682 (ABNT, 2009) ($> 1,5$). Contudo, esta otimização de recursos novamente fez a SPR apresentar caráter de ruptura global. As superfícies investigadas e a representações das fatias e a Superfície Potencial de Ruptura (SPR) obtidas e as são representadas nas Figuras 24 a e b, respectivamente.

Figura 24 - SPR para solo grampeado com berma de equilíbrio e FS próximo de 1,5.

a) Superfícies investigadas.



b) Fatias e SPR com FS crítico.



Fonte: Da autora.

A Tabela 3 resume as análises de estabilidade, seus FS críticos e suas formas de ruptura.

Tabela 3 – Resumo das análises de estabilidade.

Perfil	FS crítico	Ruptura
Natural	1,353	Global
Arq: corte e aterro	1,022	Local
Arq: corte e aterro + grampos	1,382	Global
Arq: corte e aterro + grampos e berma de equilíbrio	1,998	Local
Arq: corte e aterro + grampos e berma de equilíbrio otimizada	1,572	Global

Fonte: Da autora.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Foi feito o levantamento topográfico de uma região de voçoroca da cidade de Lavras/MG com a utilização de VANT. A partir deste levantamento, foi proposto em outro trabalho um projeto arquitetônico de uso público do local. Para a implementação deste projeto arquitetônico, foi necessário realizar corte de taludes naturais e aterros para criação de platôs. Foi definida uma seção crítica do projeto arquitetônica e foram feitas análises de estabilidade de taludes por meio de softwares de equilíbrio limite das situações de talude natural e taludes de corte e aterro advindos do projeto arquitetônico. Foram, então propostas soluções de estabilização para o último caso. As principais conclusões deste trabalho são:

- A seção natural é estável ($FS=1,353$), contudo com FS menor do que exigido pela norma ($FS>1,5$);
- Os cortes e aterros advindos do projeto arquitetônico deixariam a seção crítica no limiar da ruptura ($FS=1,022$), representando uma redução de 33% do FS da seção natural.
- A implementação de grampos no talude de aterro aumentou o FS da seção arquitetônica para 1,382, não sendo ainda adequada segundo a norma.
- A implementação adicional de berma de equilíbrio no pé da seção crítica aumentou o FS para 1,998. Otimizou-se a berma de forma que o FS final se aproximou do exigido pela norma ($FS=1,572$), reduzindo a utilização de recursos.
- A implementação de bermas de equilíbrio como solução de estabilização deve ser utilizada com cautela, uma vez que a estabilidade do maciço fica condicionada a sua existência ou substituição por outra solução equivalente.

Propõem-se para pesquisas futuras:

- O cálculo do orçamento com base em tabelas de custos para construção civil existentes da solução aqui apresentada.
- A realização de ensaios do solo local, como: SPT, determinação de índices físicos do solo e parâmetros de resistência com amostras indeformadas.

- Um estudo comparativo entre soluções para estabilização de taludes, como cortina atirantada, muros de gravidade ou de flexão.
- A análise estatística da estabilidade destes taludes, indicando a probabilidade de falha, ao invés do fator de segurança destas mesmas seções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.682: **Estabilidade de Encostas**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, 2009.

BIANCO, S.; CIOCCA, G.; MARELLI, D. **Evaluating the Performance of Structure from Motion Pipelines**; Universidade de Milano-Bicocca, 2018.

BIGARELLA, J. J. **Vol. III Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Ed. da UFSC, 2003. 1026 p.

BLAKE, L. S. **Civil engineer's reference book**. CRC Press, 1994. 7/3 p.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1988. 234p.

CARVALHO, P. A. S. **Manual de geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo: Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 388 p. (Publicação IPT; n.1843). Disponível em: http://www.der.sp.gov.br/website/Documentos/manuais_talude.aspx. Acesso em 20 março. 2022.

CHIOSSI, N. **Geologia de engenharia**. 1ª Edição. Ed. Oficina de Textos, 2013.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro-RJ: Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

DAIBERT, J. D; SANTOS, P. R. C. **Análise dos solos** Formação, classificação e Conservação do Meio Ambiente. 1Ed. Ed. São Paulo Erica, 2014.

DOMINONI, C. M. B; **Análise de estabilidade e compressibilidade de um aterro sobre solo mole no Porto de Suape, região metropolitana do Recife**. Rio de Janeiro. Projeto de graduação para título de engenheiro, 2011.

EHRlich, M. Mini Curso de Solo Grampeado. COPPE/UFRJ. Salvador Universidade Federal da Bahia, Politécnica. 2002.

FERREIRA, J. L. F. **Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Janbu e Spencer**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2011/2012 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/64689/1/000151854.pdf>

FIORI, A. P. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FOLHARINI, S. **Proposta metodológica para inserção do estoque de carbono como critério de distribuição de recursos do ICMS ecológico: caso de estudo da microrregião de Santos**. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Modelos-de-classificacao-de-movimentos-gravitacionais-de-massa-Fonte-USGS_fig3_337651825 > Acesso 20 Mar, 2022.

FREITAS, M. A. C. **Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Morgenstern-Price e correia**. Dissertação submetida para satisfação parcial dos

requisitos do grau de mestre em engenharia civil — especialização em geotecnia. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2011. 15 p.

G1 Piracicaba e Região. **Rio Piracicaba tem nove pontos de assoreamento no trajeto de 150 km.** G1, Santa Bárbara d'Oeste e Americana, 10 set. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2013/09/rio-piracicaba-tem-nove-pontos-de-assoreamento-no-trajeto-de-150-km.html>>. Acesso em 12 jan. 2022.

G1 Piracicaba e Região. **Santa Bárbara e Americana terão que recuperar áreas atingidas por erosão.** G1, Santa Bárbara d'Oeste e Americana, 04 abr. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2013/04/santa-barbara-e-americana-terao-que-recuperar-areas-atingidas-por-erosao.html>>. Acesso em 12 jan. 2022.

G1 Piracicaba e Região. **Seca agrava erosão em Americana e Santa Bárbara; Justiça exige solução.** G1, Santa Bárbara d'Oeste e Americana, 21 ago. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2014/08/seca-agrava-erosao-em-americana-e-santa-barbara-justica-exige-solucao.html>>. Acesso em 12 jan. 2022.

GOMES, C. L. R.; FALCETTA, F. A. M.; JUNIOR, Z. H. **Processo erosivo hídrico do córrego Suzigan na divisa dos municípios de Santa Barbara D' Oeste e Americana, SP.** In: XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 14., 2020, Campinas. **Anais...** Campinas: 2020. 3 p.

Google. Earth project. <http://www.google.com/earth/index.html>.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas;** 1 Ed. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2013. 9 a 18.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** 2. Ed. São Paulo: E. Blücher, 1984. 91 p.

HART, M. G. **Geomorphology: purê and applied.** Londres: Allen and Unwin Publishers, 1986.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** 2Ed. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2010. 185 p.

MASSAD, F. **Obras de terra:** curso básico de geotecnia. 2Ed. Ed. São Pulo, SP: Oficina de textos, 2003. 83 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações.** Apostila de treinamento. 2004. 73p.

MOURA. I. H. **O Processo de ocupação irregular com a atuação dos agentes modeladores do espaço e seus impactos ambientais: um estudo de Juiz de fora.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011. 23 p.

NIKOSHELI, A. N.; NACHORNIK, V. L. **Estudos e técnicas de recuperação de áreas degradadas.** Curitiba: Intersaberes, 2015. 23 p.

ORTIGÃO, J.A.R.; PALMEIRA, E.M. **Solo Grampeado: técnica para estabilização de encostas e escavações.** Rio de Janeiro; ABMS, 1992.

PERBONI, J. P. **Análise de estabilidade e de compressibilidade de aterros sobre solos moles – caso dos aterros de encontro da ponte sobre o Rio dos Peixes (BR 381)**. 2003. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

QUEIROZ, R. C. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil**. São Paulo Blucher 2016.

ROCHA, W. W. et al. **Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG)**. Revista brasileira de ciência do solo, Belo horizonte, v. 26, 2002.

SILVA, E. **Mapeamento de solos e uso de algoritmos de aprendizagem em Lavras (MG)**. Lavras. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

SILVEIRA, R. M. **Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar Comportamento geotécnico das encostas**. CREA-PR, 2016

SOARES, C. H. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchente e inundação**. Lavras, 2015. 4 a 7 p.

SODRÉ, W. W. B. **Estudo da utilização da berma de equilíbrio – reforço em barragens de rejeitos: revisão bibliográfica**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 12, Vol. 07, pp. 121-140. Dezembro de 2021. Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/berma-de-equilibrio>

SOUZA, C. R. **Análise para proposta de implantação de solo grampeado para contenção de talude localizado próximo a DF-150, por meio do critério da administração rodoviária (FHWA)**. XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 2019.

TEIXEIRA, I. J. R. **Estudo comparativo de duas alternativas para contenção de taludes verticais: solo grampeado e cortina atirantada. Monografia**. (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

TEIXEIRA, W. et al. (Org.). **Decifrando a terra**. 2. Ed. São Paulo, SP: Companhia Editora Nacional, 2009. 128 p.

TOLDO, R. **Towards automatic acquisition of high-level 3D models from images**; Tese Ph.D. Università degli Studi di Verona, 2013. 5 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2Ed. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 2001. 807 a 808 p.

VARNES, D. J. **Landslides, analysis and control**. Special Report 176, National Academy of Sciences, Cap. II. 1978.

VIEIRA, N. M. **Estudo Geomorfológico das Voçorocas de Franca (SP)**. Tese de doutorado. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Franca, 1978.

WILD, A. **Soils and the environment: na introduction**. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 1993.