

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
CAMILA DEVES
KAREN EDUARDA PIAZZA

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO
DE CASCAVEL-PR**

CASCAVEL - PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

CAMILA DEVES

KAREN EDUARDA PIAZZA

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO
DE CASCAVEL-PR**

Projeto de Pesquisa apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão do Curso II, de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor Orientador: Mestre Engenheiro
Civil Maycon André de Almeida.**

CASCAVEL – PR

2018

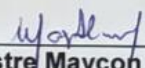
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

CAMILA DEVES
KAREN EDUARDA PIAZZA

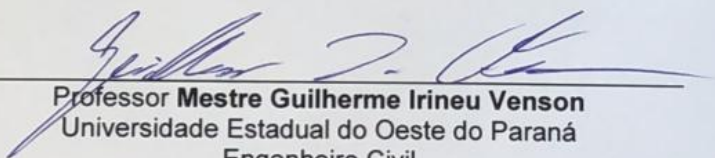
**ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE
CASCAVEL-PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor Mestre Engenheiro Civil Maycon André de Almeida.

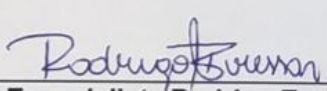
BANCA EXAMINADORA



Professor Orientador **Mestre Maycon André de Almeida**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor **Mestre Guilherme Irineu Venson**
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Engenheiro Civil



Professor **Especialista Rodrigo Techio Bressan**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 06 de dezembro de 2018.

DEDICATÓRIA DE CAMILA DEVES

Aos meus pais Eladio e Neusa, minhas maiores inspirações

AGRADECIMENTOS DE CAMILA DEVES

Agradeço primeiramente, ao pai celestial, pela Luz e Força divina em minha vida.

Aos grandes responsáveis, por eu chegar onde cheguei, meus pais - Eladio e Gladis, pelo apoio financeiro e emocional, por nunca me deixarem desistir, por mostrarem sempre a importância de persistir, pelos sacrifícios feitos, mas principalmente, por serem a maior fonte de inspiração, persistência e dedicação na minha vida.

Ao meu irmão, Gabriel por estar presente nesses cinco anos, fazendo de tudo mesmo que as vezes aparece impossível e fora de seu alcance sempre para me ver melhor.

A minha segunda mãe e tata de toda vida, Marlene Faccin, por sempre me ajudar, me cuidar, me proteger e me apoiar.

Aos meus padrinhos Mausir e Neiva, por todo apoio na escolha do curso e em tudo que foi necessário ao longo do mesmo.

Aos amigos, Milton e Inês Becker pelo apoio ao longo de toda vida, ao longo da faculdade, pelo incentivo e pela preocupação.

Aos meus avós maternos Silvia e Amado, e meus avós paternos Neli e Eugênio (*in memorian*) por entenderem o motivo de eu nem sempre estar presente em suas vidas, mas sempre que possível, dando-me todo o apoio necessário.

A minha melhor amiga, companheira de vida a 21 anos e adotada irmã, Bruna Escher, por entender a minha ausência, e por me ajudar emocionalmente sempre que necessário e estar ao meu lado, para tudo.

Aos meus companheiros de clube *Rotaract*, por entenderem as minhas faltas e por todo apoio deles recebido.

Aos Engenheiros, Jefferson Martiny e Heloísa Hitz, que com seus conhecimentos e, experiências a mim repassados juntamente com suas presenças dando-me todo o apoio quando se fez necessário

Ao professor e orientador, Mestre Engenheiro Civil Maycon André de Almeida, por toda inspiração, dedicação e paciência. Por ajudar sempre que necessário, até mesmo pelas broncas, mas sobretudo por mostrar os caminhos certos, por nunca desistir de mim, e por estar sempre orientando-me e se disponibilizando para que tudo ocorresse bem.

A equipe da empresa Solitec, por estarem sempre disponíveis para auxiliar-me.

A equipe do laboratório do Centro Universitário FAG, pelo acolhimento e auxílio.

Aos meus colegas de sala, pelo companheirismo ao longo desses cinco anos.

E, a minha colega, amiga e companheira de apartamento, Karen, por toda amizade, pelo companheirismo para realizarmos esse trabalho, pelos meses morando juntas, por toda ajuda e por toda dedicação, para que assim, conseguíssemos alcançar nosso objetivo.

Sendo assim, a todos vocês, meu muito obrigada e minha eterna gratidão.

DEDICATÓRIA DE KAREN EDUARDA PIAZZA

Dedico este trabalho aos meus pais Piazza e Alessandra e aos meus queridos avós, meus exemplos de amor e dedicação.

AGRADECIMENTOS DE KAREN EDUARDA PIAZZA

Primeiramente a Deus por me iluminar e trilhar meus caminhos até aqui.

A minha querida família, por me dar apoio e sustentação nesses anos de faculdade que mais necessitei.

Aos meus queridos avós que me apoiaram e sempre estiveram ao meu lado.

Ao meu namorado, Lucas, que me auxiliou, me incentivou e me compreendeu nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, Engenheiro Civil Maycon André de Almeida pela oportunidade e toda paciência nas orientações, não deixando de lembrar a contribuição dele no meu crescimento intelectual e profissional. Só tenho a agradecer por toda sua disponibilidade e atenção.

A minha parceira de trabalho e de caminhada Camila Deves, que sempre esteve ao meu lado e me possibilitou o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, acreditando no meu potencial e que apesar de tempos difíceis permanecemos firmes em nossa amizade. Só tenho a agradecer.

À equipe de laboratório do Centro Universitário Assis Gurgacz, pelo material cedido, para a realização de todos os ensaios e também pelo apoio oferecido no decorrer dos ensaios

Enfim a todas as pessoas que direta ou indiretamente permitiram o meu crescimento nesta longa caminhada.

EPÍGRAFE

“Não importa o que aconteça, continue a nadar”
(WALTERS, GRAHAM; PROCURANDO NEMO, 2003).

RESUMO

Para determinar a segurança de um talude é necessário estudar suas características geotécnicas conhecendo o solo local, assim como as tensões sobre ele, através do estudo de parâmetros de resistência. O estudo de um talude é importante para determinar os riscos que ele pode trazer a população, que através de ensaios se é obtido os dados necessários do solo em questão. O estudo foi realizado na região sul de Cascavel-PR, em três locais que apresentam taludes com inclinação elevada, e que por ter escolas e moradias aos seus arredores, portanto, para a realização do trabalho foram coletadas amostras indeformadas dos três taludes a fim de realizar ensaios triaxiais adensado rápido, e com isso determinar os parâmetros de resistência dos solos locais. De posse desses índices, foi realizada moldagem numérica dos taludes utilizando o *software* GEOSTUDIO, módulo SLOPE/W. Por meio de dados como geometria do talude e seus parâmetros de resistência, obtidos através dos ensaios em laboratório, foram averiguadas seis seções para os Taludes 01 e 03 e três seções para o Talude 02, todos foram avaliados pelo método de Fellenius. O Talude 01 com um ângulo de atrito de $70,45^\circ$, obteve um fator de segurança (FS) crítico de 2,826, assim não apresentando risco de ruptura. O Talude 02 com um ângulo de atrito igual a $61,85^\circ$, resultou num fator de segurança (FS) crítico de 0,601, no entanto, seu fator de segurança apresentou riscos de instabilidade já que está abaixo de 1 e portanto, abaixo do recomendado pela norma pela norma NBR 11682(ABNT,2009). E O Talude 03 com ângulo de atrito no valor de $54,65^\circ$, gerou um fator de segurança (FS) crítico de 3,653, não apresentando então riscos de ruptura. Verificou-se no entanto, que mesmo com FS baixo, a estabilidade por muitas vezes é garantida devido as camadas vegetais presentes e dispersões naturais nos parâmetros obtidos em laboratório.

Palavras-chave: Ensaios triaxiais, Estabilidade de taludes, Moldagem numérica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Ação da força de cisalhamento sobre os taludes.....	24
Figura 02: Mecanismos de resistência.....	24
Figura 03: Atrito entre materiais granulares.....	25
Figura 04: Coesão entre partículas.	26
Figura 05: Esquema do Ensaio de cisalhamento direto.....	27
Figura 06: Corpo de prova dentro de uma câmara de ensaio, submetido às tensões de confinamento e axial.....	28
Figura 07: Critérios de ruptura.	29
Figura 08: Taludes construídos pela ação humana.....	30
Figura 09: Perfil de um talude que apresenta solo residual e solo coluvionar.	31
Figura 10: Tipos de movimentação de massa.....	33
Figura 11: Exemplo de rastejo.....	34
Figura 12: Elementos da massa que sofre escorregamento.	36
Figura 13: Trinca de tração.....	40
Figura 14: Esforços atuantes na fatia.....	41
Figura 15: Mapa com localização dos Taludes.	43
Figura 16: Talude 01.....	44
Figura 17: Talude 02.....	45
Figura 18: Talude 03.....	46
Figura 19: Curvas granulométricas ao longo das camadas.....	47
Figura 20: Índices de consistência do solo do CEEF.	48
Figura 21: Detalhe do molde metalico, extração e talhagem das amostras	49
Figura 22: Corpo de prova sob a câmara.....	51
Figura 23: Corpo de prova ao término do ensaio.	53
Figura 24: Aba para escolha do método.	54
Figura 25:Interface do <i>software Slope/w</i>	55

Figura 26:Determinação da sobrecarga existente no talude.	56
Figura 27: Superfícieis de pesquisa de entrada e saída.....	56
Figura 28:Talude com inserção de dados por meio do método de Bishop.....	57
Figura 29: Relatório de diagrama da fatia e polígono de forças pelo método de Fellenius.	58
Figura 30: Esquema das sessões mais críticas.....	60
Figura 31: Resultados dos ensaios do Talude 01.....	62
Figura 32: Resultados dos ensaios do Talude 02.....	63
Figura 33: Resultados dos ensaios do Talude 03.....	63
Figura 34: Fatores de segurança do Talude 01.	64
Figura 35: Fatores de segurança do Talude 02.	65
Figura 36: Fatores de segurança do Talude 03.	66
Figura 37: Talude rompido.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Fatores internos e externos.	35
Tabela 02: Níveis de segurança desejado contra perdas humanas.	37
Tabela 03: Níveis de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.	37
Tabela 04: Fatores de segurança mínimos para escorregamento.	38
Tabela 06: Valores de pressões para os taludes.....	52
Tabela 05: Medidas das sessões.	60
Tabela 06: Índices físicos Talude 01.	61
Tabela 07: Resultados de FS para os Taludes 01,02 e 03.....	67
Tabela 08: Comparação de fatores de segurança críticos.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TCC	Trabalho de Conclusão de Curso.
FAG	Fundação Assis Gurgacz.
FS	Fator de Segurança.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estática.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1	17
1.1 INTRODUÇÃO.....	17
1.2 OBJETIVOS GERAL.....	18
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	19
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	19
2. CAPÍTULO 2	21
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1.2 Resistência ao cisalhamento	23
2.1.2.1 Mecanismos de resistência	24
2.1.2.1.1 Atrito.....	25
2.1.2.1.2 Coesão	26
2.1.2.2 Ensaio de cisalhamento direto	27
2.1.2.3 Ensaio de compressão triaxial.....	27
2.1.3 Taludes.....	29
2.1.3.1 Tipos de taludes	30
2.1.3.2 Cargas Atuantes sobre Talude	31
2.1.4 Movimentos de massa	32
2.1.4.1 Subsidiências	33
2.1.4.2 Escoamento.....	34
2.1.4.3 Erosão	35
2.1.4.4 Escorregamento	36
2.1.5 Análise de estabilidade de taludes	36
2.1.6 Métodos para a análise de Estabilidade dos Taludes.....	38
2.1.7 Método de equilíbrio limite	39

2.1.7.1 Método de Bishop simplificado.....	39
2.1.7.2 Método de Spencer	40
2.1.7.3 Método Morgenstern-Price	41
2.1.7.4 Método de Fellenius	41
3. CAPÍTULO 3	42
3.1 METODOLOGIA.....	42
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	42
3.1.1.1 Áreas de análise	43
3.1.2 Caracterização do solo.....	46
3.1.3 Coleta de dados.....	49
3.1.4 Ensaio de compressão triaxial	50
3.1.4.1 Procedimento do ensaio de compressão axial	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1 ANÁLISE DOS TALUDES	59
4.2 DEFINIÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS	61
4.3 ENSAIO DE CISALHAMENTO.....	62
4.4 MODELAGEM NUMÉRICA.....	64
4.4.1 Talude 01	64
4.4.2 Talude 02	65
4.4.3 Talude 03	66
4.4.4 Comparação dos fatores de segurança entre os taludes	66
4.4.5 Relação entre coesão e FS	68
4.5 ROMPIMENTO DO TALUDE 03.....	69
5. CONCLUSÃO.....	701
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS.....	74

1. CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Um talude, segundo Bittencourt (2016), é definido como uma superfície propícia à inclinação quando comparado ao seu nível, delimitando assim um volume de solo, mineral ou outro material. O mesmo, ainda pode ser dividido em natural e artificial. Os naturais são as encostas e os artificiais são os cortes e aterros feitos pelo homem.

As duas forças principais que atuam em um talude são as forças de cisalhamento que são as capazes de induzir um movimento deste volume, no qual a ação da tensão cisalhamento mobilizante atua sobre a superfície de ruptura, e as tensões resistentes estará se opondo ao movimento deste volume, por meio da resistência de cisalhamento do próprio material. Quando a tensão de cisalhamento mobilizante se iguala a força resistente, ocorre um movimento do volume de massa, gerando um deslizamento.

Para Gerscovish (2016), por meio de parâmetros de resistência e através de programas determina-se os valores do fator de segurança de um talude e assim é possível classificar o solo quanto a sua ruptura, sendo que, valores de FS maiores que 1 indicam estabilidade, valores de FS menores do que 1 indicam instabilidade e valores de FS igual a 1 indicam condições limites de estabilidade (metaestabilidade). Os taludes são de grande risco em sua maior parte por apresentarem instabilidade quando feita a retirada da vegetação, ocupação imprópria e problemas com infiltração, portanto podendo ocasionar um deslize de solo sobre uma rodovia ou sobre construções em que resulta em acidentes, pessoas feridas e até mesmo a perda da vida.

Atualmente, principalmente em épocas de chuvas, os acidentes provenientes do deslizamento de taludes têm como maior destaque a dá ocupação de locais impróprios, onde a população não respeita o plano diretor de crescimento da cidade construindo e utilizando áreas sobre taludes instáveis ou próximos a eles.

Devido a problemática gerada pela presença de taludes próximos ao perímetro urbano, com possibilidade de ocupação, teve-se como objeto deste estudo analisar a estabilidade de talude, através de ensaios que determinaram os parâmetros de resistência do solo e assim gerar os fatores de segurança que iram determinar a instabilidade dos taludes estudados.

1.2 OBJETIVOS GERAL

Determinar os fatores de segurança de cada talude com alta declividade, e assim averiguar se o talude se encontra instável ou não.

1.2.1 Objetivos específicos

- Identificação de áreas com taludes que apresentam alta declividade e possibilidade de risco.
- Coletar amostras indeformados e realizar ensaios triaxiais para determinar os parâmetros de resistência de cada área;
- Realizar modelagem numérica de taludes no *software* Geoslope e verificar o fator de segurança da situação em campo, propondo soluções caso o mesmo não seja atendido.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo dados do IBGE (2010), o crescimento populacional da cidade de Cascavel-PR vem acontecendo de forma acelerada o que acata em uma rápida urbanização. Porém devido a alta concentração populacional e ao pouco e má aproveitamento de espaço urbano disponível, faz com que a população passe a ocupar áreas que não trazem segurança suficiente, resultantes da falta de estabilidade dos taludes ocupados por elas.

Um dos principais problemas de construir sobre áreas de risco, são os possíveis deslizamentos que podem ocorrer no local. Os deslizamentos são geralmente consequência do desmatamento de áreas para construção, a remoção de camada vegetal de proteção do solo, ou a inapropriada escavação sem controle, e/ou aterros sem a devida compactação. Portanto, se torna necessário o acompanhamento de profissionais especializados e a realização do estudo quanto ao fator de segurança do talude, e assim determinar se o talude se encontra estável ou não.

Para isso foi realizado um estudo em três taludes na região de Cascavel-PR identificando através de ensaios se os taludes ali presentes, apresentam algum risco de deslizamentos ou até mesmo de ruptura. E com isso também foi produzido um parecer

descritivo dos taludes suas dimensões, dados e condições de segurança para a população por meio da coleta de dados, ensaios em laboratório e dados analisados em softwares.

Finalizado o estudo, as informações podem ser utilizadas pelo poder público de maneira que os mesmos, irão poder permitir o crescimento urbano em áreas onde o risco seja baixo e as obras de infraestruturas para corrigir problemas envolvendo estabilidade de maciços de solos sejam previamente realizadas. Desta forma haverá maior segurança para o morador, pois trará maior estabilidade e evitará que ocorram deslizamentos em consequência da falta de estabilidade do terreno.

Portanto, a razão desse estudo foi analisar através de ensaios e software os fatores de segurança existentes para cada talude e assim determinar a estabilidade dos mesmos. E consequentemente foi possível identificar na cidade de Cascavel os taludes críticos e que precisam de mais atenção quanto ao risco de ruptura.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Os taludes existentes e pré-determinados de Cascavel-PR apresentam algum risco de desabamento para a população que habita ao seu redor?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Os problemas de deslizamento de talude na maioria das vezes são decorrentes de fatores naturais, mas o fator humano vem contribuindo para que tal evento aconteça quando, sobre um talude com risco de deslizamento é colocada uma sobrecarga, desmatado ou não ser feita uma proteção contra infiltração. Portanto, estudar os locais que estão sujeitos a esses fatores, se torna necessário para trazer melhor segurança e planejamento ao local e em torno do mesmo.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi realizada na região Sul, do perímetro urbano de Cascavel-PR, na qual os taludes foram determinados a partir de um estudo *in loco* de locais que aparentemente apresentam risco para a população.

Com o levantamento destas áreas foram elaborados estudos que identificaram os fatores de segurança de cada talude e então vista as condições atuais dos locais, o estudo auxiliará as autoridades ou até mesmo a população na tomada de decisão quanto à recuperação e possíveis ações mitigatórias ou preventiva, redobrando assim atenção quanto aos riscos que os taludes podem oferecer a população.

Para isso, foram coletadas amostras *in loco* de modo a conduzi-las ao laboratório e assim realizou-se ensaios triaxiais determinando parâmetros de resistência e cisalhamento do solo local, inserindo suas características em um modelo 3D para realizar a análise da estabilidade dos mesmos. Portanto foi feito o uso do *software* Geoslope, para se determinar os fatores de segurança de cada talude e assim foi possível concluir a situação do talude, se o mesmo pode oferecer riscos ou não.

2. CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado o conceito de taludes, origem, causas de instabilidade, detalhamento das mesmas e como elas ocorrem.

2.1.1 Solo

Segundo Netto (2015), o solo é um conjunto disperso, trifásico e heterogêneo, podendo variar em sua composição partículas em sua fase gasosa, partículas de água em sua fase líquida, e ar que compõe sua fase gasosa, sendo assim, a fórmula, a disposição das partículas e o seu tamanho, são responsáveis por determinar a característica dos poros onde as mesmas, ficam retidas. Portanto, podemos dizer que os solos são originados de rochas sedimentares, ou seja, no princípio não existiam solos, apenas maciços rochosos que com passar do tempo foram se desgastando pela ação do clima, da água, dos ventos e pela ação dos seres vivos.

As propriedades físicas em destaque quando se refere a solos, são densidade, porosidade, teor de umidade e textura. A densidade também podendo ser nominada como aparente relativa ou do solo, faz referência entre massa e volume, sendo sua resultante aproximadamente 0,9 para solos argilosos e 1,5 para solos arenosos. Já a porosidade é a relação entre volume dos poros e o volume total da massa, sendo seus valores descritos em porcentagem, em que solos argilosos têm valor de 60% e os argilosos 30%. Na análise da umidade, é feito uma relação entre massa de água e massa de partículas da amostra, sendo que seu resultado mostrará a porcentagem de água que aquele solo possui, e a textura é definida pela quantidade e tamanho das partículas.

Varela (2009) afirma que, a crosta terrestre é composta por vários tipos de corpos rochosos e se submetem a condições que modificam a forma física e a composição química do solo. E assim, o intemperismo físico e químico é responsável pela modificação das rochas quanto estão expostas ao tempo.

Segundo Almeida (2016), outros fatores a serem levados em conta quanto aos solos é o intemperismo, responsável por alterar as características físicas e químicas de um solo, sendo

um importante processo para formação e modelação do mesmo. O intemperismo químico é quando ocorre a quebra dos minerais que compõem a rocha, acontecendo uma decomposição delas sendo que para isso, dependem da temperatura, chuvas e vegetação presente no local. Já o intemperismo físico ocorre a partir da degradação da rocha em pedaços cada vez menores, aumentando assim sua superfície de contato.

Segundo DAS (2007), o intemperismo também é responsável pelas dimensões das partículas, tendo então diversos tamanhos. Conforme descrito da norma NBR 7181 (ABNT, 1984), os solos podem ser denominados e classificados como pedregulhos, areia, silte e argila.

Para Vargas (1977), a estrutura de um solo é estabelecida como arranjo ou configuração de suas partículas do solo entre si. Ainda segundo o autor, alguns dos fatores que afetam a estrutura do solo estão a forma, o tamanho e a composição mineralógica do solo. Ele ainda enfatiza que as partículas de um solo sempre estão distribuídas de forma organizada e assim, as estruturas podem ser subdivididas em:

Estrutura simples: Denominadas aquelas que para a disposição das partículas é fundamental a ação das forças correspondentes ao campo gravitacional. Estas estruturas compõem solos com grãos grossos, sendo assim, as partículas se distribuem apoiando-se umas nas outras. Nos casos de solos muito compactados, as partículas se encontram em alto grau de acomodação e a capacidade de deformação sob a carga será menor. Sua propriedade principal é a capacidade de compactação das partículas.

Estrutura Alveolar: Considerada uma estrutura peculiar, composta por grãos de pequenos tamanhos com 0,02 (mm) de diâmetro ou menores, que se depositam em água e/ou ar.

Estrutura Floculada: Classificada assim quando no processo de sedimentação, duas partículas de diâmetros menores que 0,02 mm chegam a se tocar, se juntando e se sedimentando juntas. Outras partículas podem se unir, desenvolvendo uma estrutura igual a um painel, porém neste mecanismo se desenvolve uma estrutura muito frágil e solta.

Estrutura Composta: Formada quando se permite que se ocorra a sedimentação das partículas grossas e finas. Isto só é possível, devido a presença da água do mar ou lagos, que contenham sais. O resultado disso é o efeito floculante, que só existem com a ação dos ventos, correntes de água, entre outros.

Estrutura em "Castelo de Cartas": As partículas do solo compõem de cargas negativas, no entanto, nas suas áreas é possível encontrar uma alta concentração de carga positiva, e como consequência disso, as partículas atraem a superfície de uma partícula vizinha. Este tipo de solo apresenta um grande volume de vazios.

Estrutura Dispersa: Nessa estrutura, se houver qualquer tipo de alteração, como deformação por esforço cisalhante, os ângulos entre as lamelas dos materiais tendem a diminuir.

Os solos também podem ser classificados em dois grandes grupos: os solos residuais e os solos transportados, além dos solos orgânicos, lateríticos e colapsáveis. Os solos residuais são originados da ação do intemperismo, portanto, os solos decompostos de rochas que ficarem do seu local de origem, em que possuem uma baixa resistência à erosão, por isso, se faz necessário um cuidado maior para a execução de obras envolvendo taludes naturais. O tipo de solo que será gerado vai depender do clima, da topografia, das condições de drenagem e dos processos orgânicos.

Como o processo de intemperismo é maior na superfície terrestre que está exposta, o perfil de um solo residual é diferente conforme aumenta sua profundidade, já que as camadas de rochas da superfície são mais deterioradas em relação às camadas internas. Devido à ação do intemperismo, quanto mais profundo for a análise do solo onde se observa vestígios da estrutura da rocha, mais conhecido com solo saprolítico, que seria um solo menos intemperizado, no qual o intemperismo não é o suficiente para transportá-lo, portanto preserva características estruturais da sua rocha mãe. Logo abaixo do solo saprolítico, terá a rocha propriamente dita, sendo a mais resistente em relação às anteriores.

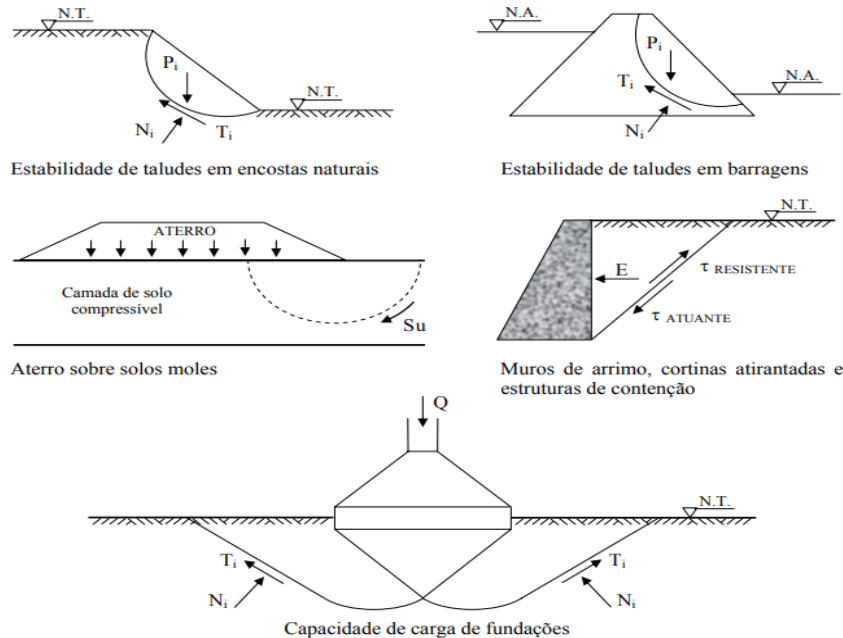
Os solos transportados são aqueles que sofrem processo de separação da rocha de origem sendo transportado e depositado em outro local, através de agentes como vento, água, gelo e gravidade, possuindo características semelhantes ao solo residual, sendo que conduzem certa quantidade de matéria orgânica decomposta, em que este solo transportado pode apresentar variações laterais e verticais em sua composição, isso vai depender do agente que esta transportando.

2.1.2 Resistência ao cisalhamento

A eficácia dos grãos de suportar a esforços cisalhantes permite que carregamentos e/ou descarregamentos sejam efetuados sem provocar a instabilidade no talude. Devido ao peso próprio do solo, e, as forças externas aplicadas, qualquer porção do solo é solicitada por esforços. Esses esforços são denominados de tensões, cuja intensidade é calculada pela força e pela unidade de área.

A ruptura de um solo por cisalhamento no decorrer de um plano, ocorre por meio de um deslizamento de solo sobre uma superfície que permanece fixa. Na Figura 01, observa-se o instante da ruptura e na superfície de ruptura a tensão normal e a tensão de cisalhamento.

Figura 01: Ação da força de cisalhamento sobre os taludes.

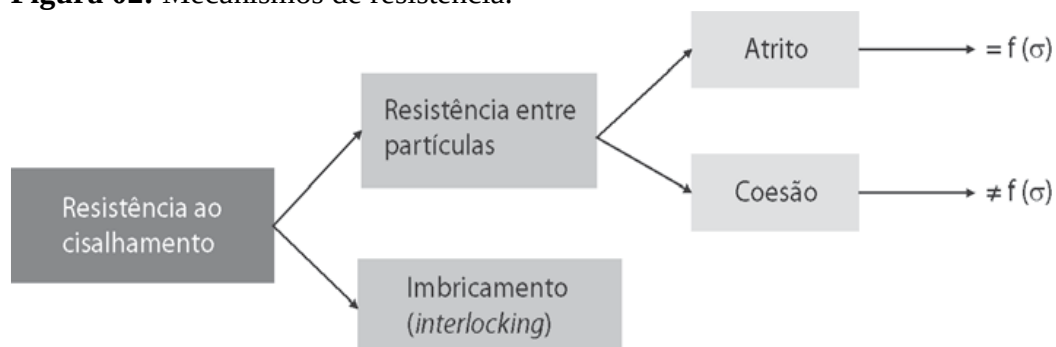


Fonte: Faculdade Sudoeste Paulista, FSP (2013, p 01.).

2.1.2.1 Mecanismos de resistência

Segundo Gerscovich (2016), os solos suportam a esforços cisalhantes por apresentarem uma resistência ao cisalhamento natural devido ao contato entre grãos. Portanto, a resistência ao cisalhamento em solos são provenientes da resistência entre partículas e o embricamento, conforme apresenta a Figura 02.

Figura 02: Mecanismos de resistência.



Fonte: Gerscovich (2016, p. 80).

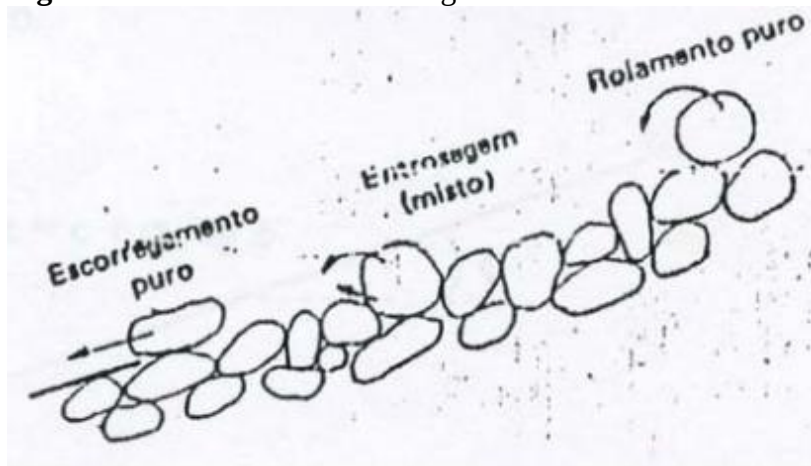
O embricamento seria o esforço necessário para deslocar uma partícula ascendentemente. Nos solos fofos, os grãos se deslocam na horizontal, sendo estimulada a resistência entre grãos. Em solos densos, o embricamento entre partículas é bem maior, provocando então uma expansão volumétrica durante o cisalhamento. Resumindo, quanto mais denso for o solo mais será seu embricamento e consequentemente maior será sua parcela de resistência ao cisalhamento devido ao embricamento. A resistência entre partículas se subdivide em duas funções: Atrito e coesão as quais são descritas a seguir.

2.1.2.1.1 Atrito

Pinto (2006) afirma que a movimentação do solo circunda um grande numero de grãos, que deslizam entre si ou rolam uns sobre os outros. A Figura 3 mostra os tipos de movimentos de materiais granulares quando expostos a esforços cortantes, já que areias e argilas têm diferentes superfícies de contato, gerando assim uma força diferente para cada tipo de material.

Nas areias ocorre a expulsão de água, pois o contato ocorre pelos próprios grãos, mineral com mineral. Já nas argilas, os esforços são aplicados sobre os grãos e como ele estão com água ao redor, o atrito acaba sendo prejudicado devido a presença da água entre os grãos, fazendo com que os mesmos se desloquem com facilidade um sobre o outro, como apresentado na Figura 03.

Figura 03: Atrito entre materiais granulares.



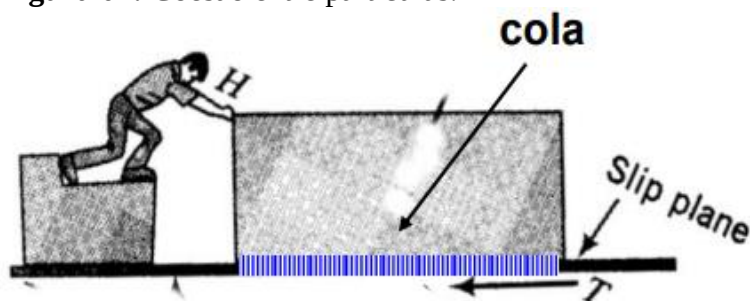
Fonte: Faculdade Sudoeste Paulista, FSP (2013, p. 07).

Similar a lei de Coulomb, a resistência de partículas ao atrito corresponde a resistência ao cisalhamento de um corpo rígido sobre uma superfície plana em que a tensão tangencial seja o suficiente para causar a movimentação do corpo, sendo assim, depende da tensão normal e do coeficiente de atrito entre o corpo e o plano.

2.1.2.1.2 Coesão

Já o mecanismo de coesão resulta do surgimento de uma ligação efetiva entre as partículas, ou seja, a tensão entre as partículas que resulta num esforço que não depende da tensão normal para movimentação, podendo a mesma ser dividida em coesão real ou aparente, como apresentada na Figura 04.

Figura 04: Coesão entre partículas.



Fonte: Gerscovich (2010, p.18).

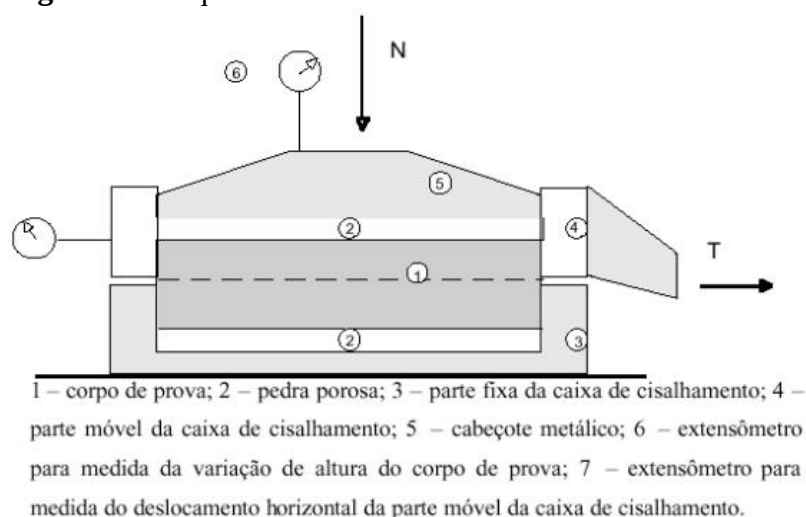
A coesão real é o resultado de efeitos cimentantes e também da atração de partículas próximas por forças eletrostática, sendo elas a iônica, de cimentação e as tensões residuais (MITCHELL,1976), portanto, tem grande influência em solos pedologicamente evoluídos. Já a coesão aparente se caracteriza pela obtenção de resultados da tensão superficial da água nos capilares do solo, sendo assim, a coesão aparente se torna nula quando o solo estiver completamente saturado (FREDLUND & RAHARDJO, 1993). Essas coesões podem ser verificadas em solos argilosos ou em solos cimentados.

Os parâmetros de resistência de um solo governam a resistência ao cisalhamento de um solo e, portanto, são passíveis de serem determinados através de ensaios de cisalhamento direto e triaxiais. A seguir é possível verificar como os ensaios funcionam e como os dados dos solos são analisados.

2.1.2.2 Ensaio de cisalhamento direto

Este ensaio é o mais conhecido para se determinar a resistência ao cisalhamento de um solo. No ensaio, como apresentado na Figura 05, a amostra prismática que possui dimensões de 10x10 por 6 cm de altura é inserida em uma caixa, e em seguida, aplicada uma força normal constante, provocando uma movimentação da caixa até a ruptura. Conforme se realiza o ensaio a área do plano de ruptura vai diminuindo e com isso são alteradas as tensões normais e cisalhantes da amostra ensaiada. Para ajudar na drenagem são colocadas duas pedras porosas, uma no topo e outra na base da amostra.

Figura 05: Esquema do Ensaio de cisalhamento direto.



Fonte: Gerscovich (2010, p. 27).

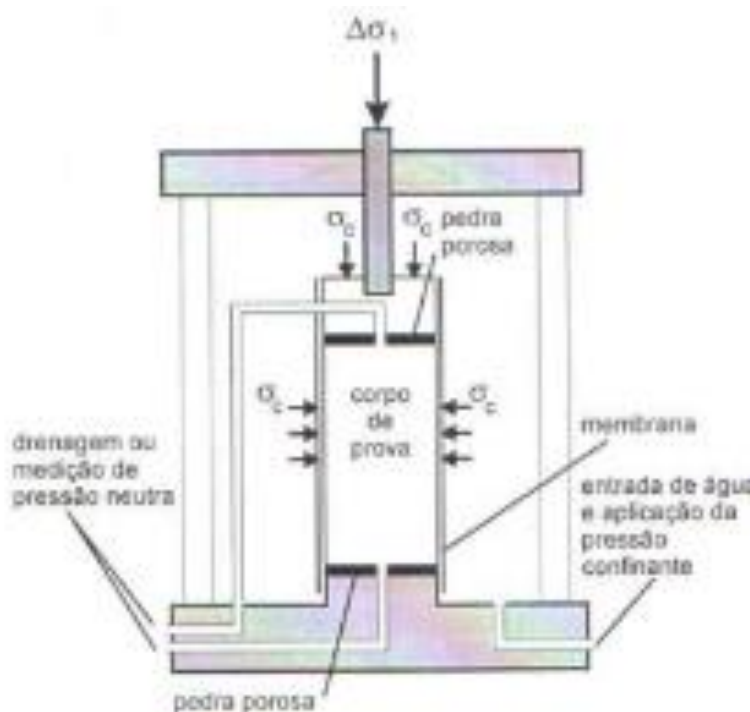
2.1.2.3 Ensaio de compressão triaxial

Pinto (2000) afirma que, o ensaio de compressão triaxial consiste na aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento axial sobre um corpo de prova cilíndrico.

Segundo Caputo (1988), o ensaio de compressão triaxial é considerado perfeito que o cisalhamento direto, e por este motivo, o mais utilizado. É formado por uma câmara cilíndrica, com parede transparente. No seu interior é colocada a amostra indeformada, sob uma câmara inferior e envolvida por uma membrana muito resistente. Na base superior do cilindro um pistão é inserido sob a amostra, que por meio de uma placa rígida se aplica uma tensão na amostra. Durante o carregamento, em diversos intervalos de tempo, é medido o aumento de

tensão axial que se atua no corpo de prova e também a deformação vertical do corpo de prova, conforme a Figura 06.

Figura 06: Corpo de prova dentro de uma câmara de ensaio, submetido às tensões de confinamento e axial.



Fonte: Marangon (2009, p 02.).

Para cada ensaio, é determinado um círculo de Mohr, necessitando de no mínimo 3 ensaios realizados. E assim, é possível determinar a envoltória de resistência do solo em análise, e consequentemente a envoltória de Coulomb.

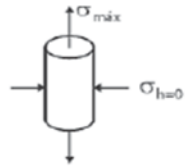
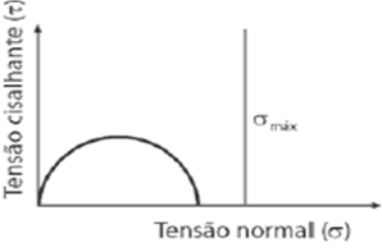
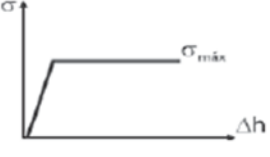
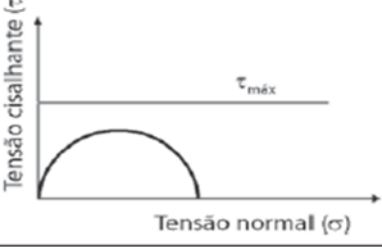
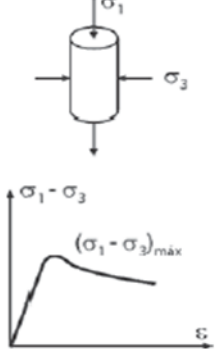
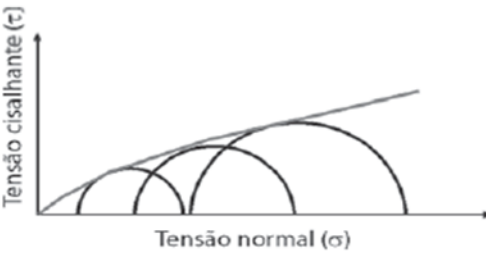
Esta água aplica uma pressão sob o corpo de prova denominada “pressão confinante” ou “pressão de confinamento”, que é a pressão por meio hidroestático atuando a partir de uma força vertical. O carregamento axial é aplicado por forças geradas por um pistão que se encontra sobre a câmara. Para se medir a carga, utiliza um anel dinamométrico externo. Os planos horizontais e verticais são os planos principais, pois não existem tensões de cisalhamento nas bases e nas geratrizes do corpo de prova.

Conforme se aplica um carregamento em diversos tempos, mede-se o acréscimo de tensão axial que está atuando e a deformação vertical do corpo de prova. Os acréscimos verticais feitos durante o carregamento axial possibilitam a criação do círculo de Mohr.

Para determinar o lugar geométrico dos estados de tensões na condição de ruptura, usa-se a envoltória de ruptura ou de resistência. Na prática, tensões que se localizam abaixo da envoltória representam situações de estabilidade, quando a tensão permanece em cima da

envoltória corresponde a ruptura e as que ficam localizadas acima da envoltória configura com estado de tensões impossível de ocorrer. Pelos critérios de Rankine e Tresca, as envoltórias são exibidas em linha reta, e no Círculo de Mohr, a envoltória é um segmento de reta curvo na ponta para que o intercepto coesivo de menor valor sempre 0, possa ser superior. A Figura 07 revela os critérios de ruptura usados na engenharia.

Figura 07: Critérios de ruptura.

Critério	Condição	Determinação experimental	Envoltória de ruptura
Rankine	A ruptura ocorre quando a tensão de tração se iguala à tensão normal máxima ($\sigma_{m\acute{a}x}$) observada em ensaio de tração não confinada		
Tresca	A ruptura ocorre quando a tensão de cisalhamento se iguala à tensão de cisalhamento máxima ($\sigma_{m\acute{a}x}$) observada em ensaio de tração não confinada		
Morh	A ruptura ocorre quando no plano de ruptura a combinação das tensões normais e cisalhantes (σ, τ) é tal que a tensão de cisalhamento é máxima; isto é, $(\sigma_1 - \sigma_3)_{m\acute{a}x} = f(\sigma)$		

Fonte: Gerscovich (2016, p. 84).

2.1.3 Taludes

Segundo Gerscovich (2016), talude significa qualquer plano inclinado de uma porção de solo ou rocha, contendo duas divisões: talude natural, também chamado encosta ou talude artificial, denominados cortes e aterros.

Para analisar a instabilidades de taludes em aterros ou cortes deve-se sempre considerar as alterações que ocorrem durante e quando a obra é concluída, para que assim se avalie a pior situação possível em questão de segurança. E quanto a barragens, a verificação ocorrerá em todas as etapas da obra, incluindo o antes e depois da mesma.

Gerscovich (2016) diz que a ruptura se define pela formação de um plano de cisalhamento na massa de solo, portanto, a camada de solo que fica em volta da área cisalhada perde suas características durante a fase de ruptura.

2.1.3.1 Tipos de taludes

Taludes artificiais são os declives criados pela ação humana através da alteração de paisagem e vegetação de um determinado local, gerando os cortes em encostas de escavações ou de lançamento de aterros, conforme apresentado na Figura 08.

A realização do aterro é feita quando é preciso nivelar o terreno, ou quando o solo de fundação tem baixa capacidade de suporte. Por isso, os cálculos de estabilidade de taludes dão mais segurança em relação a solos naturais, devido ao conhecimento das propriedades do solo compactado.

Figura 08: Taludes construídos pela ação humana.



Fonte: Google Imagens (2016).

Segundo Gerscovich (2016), devido à influência da ação da gravidade e consequentemente o movimento dessas rochas, os taludes naturais estão sempre submetidos à instabilidade. Isso ocorre porque as rochas sofrem constantemente processos físicos - químicos, deixando assim o solo menos resistente e possibilitando em alguns casos a ruptura do talude.

Devido à ação do intemperismo as camadas de solo acabam ficando homogêneas a olho nu, tornando impossível na maioria dos casos distinguir o solo residual do solo coluvionar. O solo coluvionar, é quando o mesmo é transportado para outro destino, diferente do seu local de origem, principalmente, pela ação da gravidade. Na Figura 09, pode ser observado um perfil de talude, que apresenta no decorrer do seu perfil solo residual formado a partir da ação física e química de sua rocha mãe e também de fatores como o clima.

Figura 09: Perfil de um talude que apresenta solo residual e solo coluvionar.



Fonte: DER-SP (1843).

2.1.3.2 Cargas Atuantes sobre Talude

Uma massa de solo tem sobre ela diversos esforços, que podem ser gerados pelo próprio peso e por forças externas. Quando analisados, esses esforços podem ser representados por resultantes em direções normais e tangenciais, que irão indicar as forças normais e de cisalhamento. Quando representado de forma tridimensional, os componentes irão gerar nove paralelas, então, sabendo-se os componentes, é possível encontrar a partir da equação do equilíbrio de forças, qualquer componente de outro plano.

As obras geotécnicas lidam com os termos bidimensionais, um exemplo é observado quando executado um muro de contenção ou na execução de um tanque. Para o muro, usa-se o plano ortogonal na face do muro, para analisar a deformação, desprezando tensões no eixo longitudinal. Já para a execução de um tanque, é levado em conta que as deformações no eixo horizontal são iguais, por isso, só se torna necessário analisar os eixos verticais e radiais.

As deformações são geradas a partir da variação de tensões normais ou de cisalhamento. Quando a mesma ocorre por conta da variação da tensão normal, irá gerar uma variação entre o comprimento e o comprimento inicial, sendo que a soma das partes da deformação irá definir a variação volumétrica. Já quando a variação ocorre em decorrência da força cisalhante irá ocorrer uma distorção angular, tendo uma mudança entre o ângulo inicial e final.

Segundo Gerscovich (2016), a forma mais correta de estudar a estabilidade é por meio das tensões efetivas, pois nelas os comportamentos são regulados pelas tensões dos grãos, em que a análise que ocorre. Por meio das tensões totais, que economicamente falando é as mais viáveis. Em termos de projeto, utilizar as tensões totais como parâmetro irá simular as piores condições presentes em campo, já que como há presença de água estará atrapalhando o contato entre os grãos, gerando maiores deformações, estabelecendo resultados mais confiáveis.

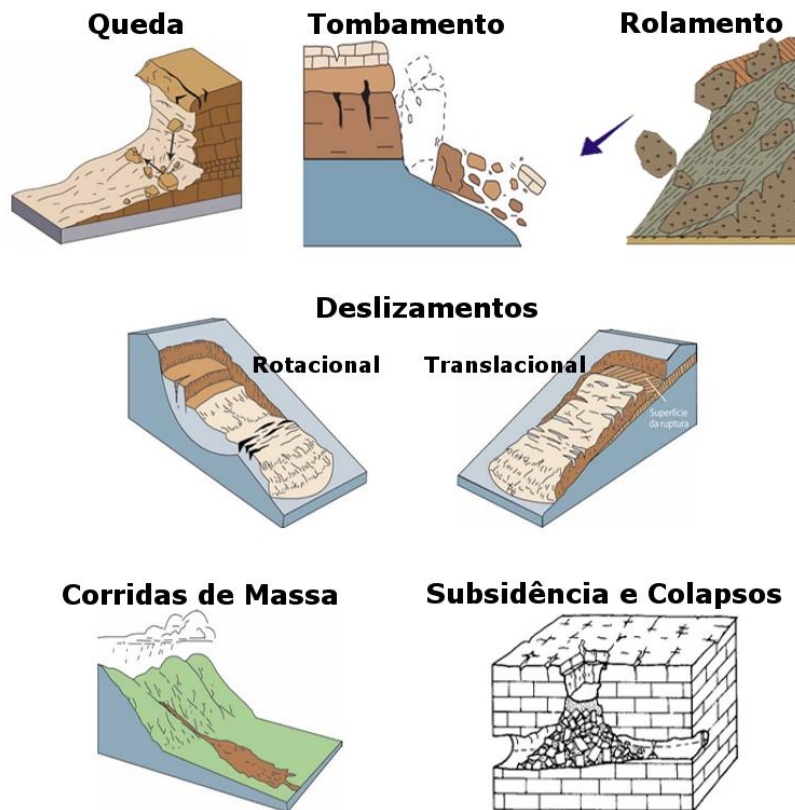
Porém, a análise de tensão efetiva é a mais correta, pois o solo responde a qualquer tipo de solicitação, embora dependendo da tensão efetiva. Quando se faz a análise com tensões totais, o projetista afirma que as pressões geradas nas obras são iguais aos ensaios realizados.

2.1.4 Movimentos de massa

O movimento de massa é conceituado como sendo o movimento de certo volume de solo, onde este está ligado à instabilidade de encostas. Em uma proposta feita por Varnes (1978), ele fragmenta o movimento para solos e rochas, em: expansão lateral, escorregamento, queda, tombamento, escoamento e complexo.

Augusto Filho (1992) em sua revisão bibliográfica, diz que o movimento de massa para regiões argilosas pode ser agrupado em: escorregamento, quedas e corridas ou fluxos, rastejos ou fluência, como representada na Figura 10.

Figura 10: Tipos de movimentação de massa.



FONTE: Cemaden (2018).

Geralmente, a classificação depende da região que será estudada, para isso, as condições climáticas e geológicas são os principais parâmetros utilizados. No Brasil, por se tratar de um país de clima tropical, o movimento de terra mais comum é o escorregamento.

2.1.4.1 Subsidiências

Trata-se de um deslocamento de massa, o qual deve ser vertical, sendo ele instantâneo ou contínuo. Dependendo da forma em que acontece, ele poderá ser classificado como desabamento ou queda, afundamento ou recalque.

O desabamento ou queda é classificado como subsidiências bruscas, as quais acontecem em alta velocidade. As quedas ocorrem em blocos rochosos onde o movimento de terra acontece por meio de quebra livre ou sobre um plano inclinado.

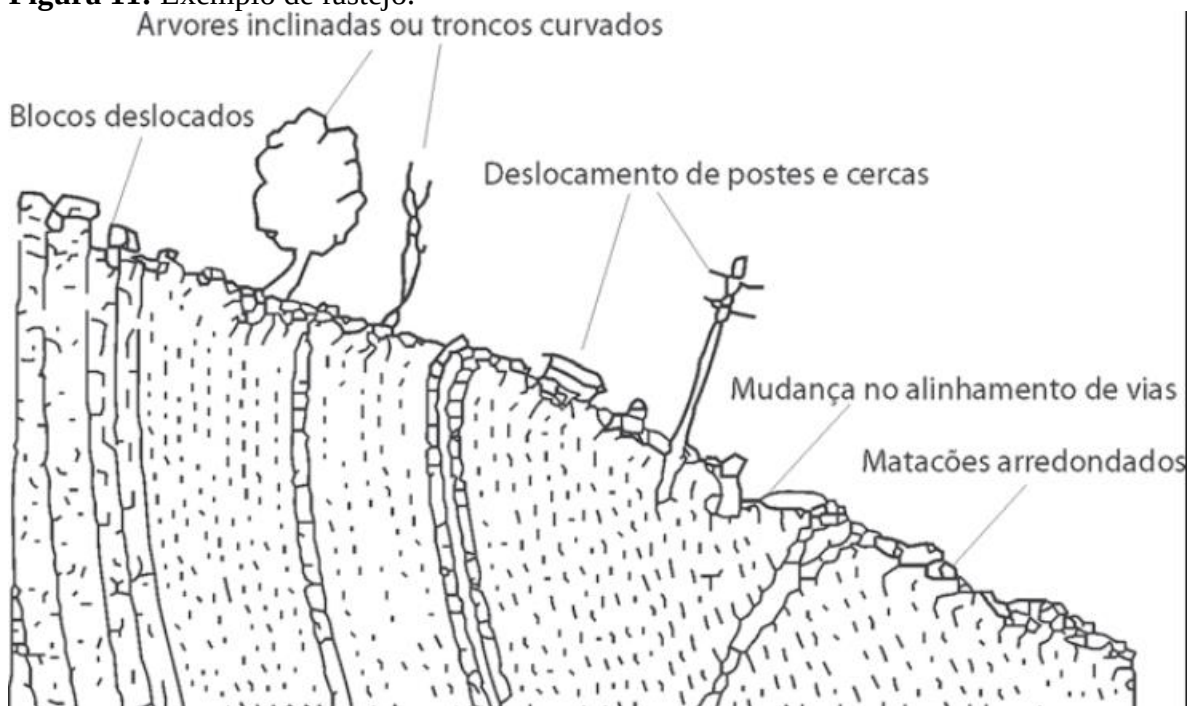
O adensamento ou afundamento apesar de não ser um problema de talude, acontece quando é feita uma remoção de uma fase gasosa, líquida ou sólida, sendo as causas mais comuns: mineração, águas subterrâneas que causam erosão, exploração de petróleo, bombeamento de águas subterrâneas e efeito de vibração em solos não consolidados.

2.1.4.2 Escoamento

O escoamento é definido por um movimento contínuo, que ao mesmo tempo possui ou não uma superfície de deslocamento determinada, porém não possui uma velocidade exata. Quando o escoamento acontece de forma lenta, classifica-se como rastejo, já quando ocorre de forma rápida, classifica-se como corrida.

O rastejo é lento e acontece de forma contínua, não apresenta uma superfície bem definida para ruptura, geralmente ocorre em grandes áreas, no qual é difícil definir qual foi o volume responsável pela movimentação, e qual o volume que ainda se encontra estável. Isso acontece devido à variação de temperatura e umidade, que com a ação da gravidade baixa as tensões que ficam inferiores à resistência ao cisalhamento. A Figura 11 representa um solo em que ocorre o rastejo.

Figura 11: Exemplo de rastejo.



FONTE: Gerscovish (2016, p. 20).

Já, as corridas acontecem em alta velocidade, e sua causa é a perda total da resistência do solo, fazendo com ele tenha características de um fluído. Esse processo ocorre quando se adiciona água em um solo muito arenoso e assim é feito muito esforço sobre uma superfície ou amolgamento de argilas mais sensíveis. Mas, a água é o fator de maior predominância.

2.1.4.3 Erosão

Os processos erosivos vêm crescendo significativamente nos últimos tempos, já que o desmatamento e a construção das vias de acesso e assim associado à falta de percepção das condições ambientais do local, vem sendo os principais fatores para que ocorra o mesmo.

A erosão pode ser classificada em duas formas: voçorocas e ravinas, sendo que o principal agente são as águas subterrâneas (voçorocas) e quando o contrário acontece, irão surgir as ravinas. A Tabela 02 apresenta os fatores internos e externos do processo erosivo dos solos

Tabela 01: Fatores internos e externos.

FATORES CONDICIONANTES DE PROCESSOS EROSIVOS	
FATORES EXTERNOS	➤ Potencial de erosividade da chuva ➤ Condições de infiltração ➤ Escoamento superficial ➤ Topografia (declividade e comprimento da encosta)
FATORES INTERNOS	➤ Fluxo interno; ➤ Tipo de solo; ➤ Desagregabilidade; ➤ Erodibilidade; ➤ Características geológicas e geomorfológicas; ➤ Presença de trincas de origem tectônica; ➤ Evolução físico-química e mineralógica do solo.

Fonte: Gerscovish

(2016, p. 22).

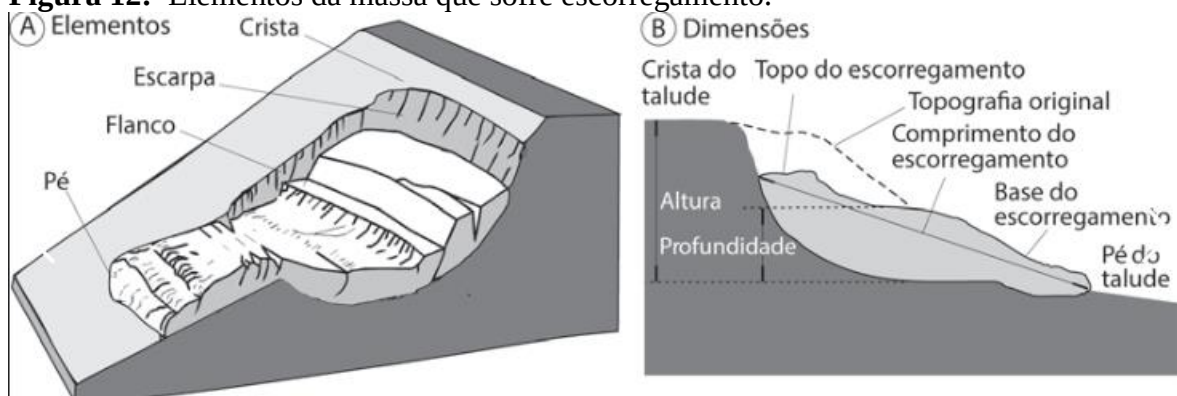
Os processos erosivos são consequência dos fluxos que se encontram saturados ou não, que deslizam em direção aos taludes e podem acontecer de forma isolada ou em conjunto, sendo dividida em erosão superficial, erosão subterrânea, instabilidade de taludes, solapamento e desmoronamento.

Os escorregamentos associados à erosão geram as voçorocas, na qual a infiltração da água faz com que a sucção dos taludes diminua e que dependendo da intensidade e da duração da chuva pode ocasionar um escorregamento, sendo o material levado pela água, surgindo o “pé da voçoroca”, sendo assim, quando há um período de estiagem a sucção aumentará e diminuirá a umidade, melhorando a estabilidade do talude.

2.1.4.4 Escorregamento

Os escorregamentos são caracterizados por um movimento que ocorre de forma rápida e possuem uma superfície de ruptura definida. Esses escorregamentos, conforme mostra a Figura 12, acontecem quando a tensão cisalhante se iguala a tensão cisalhante do material, ou seja, ocorre em superfícies de menos resistência. Os escorregamentos podem desenrolar-se de forma planar, circular, em cunha ou combinação.

Figura 12: Elementos da massa que sofre escorregamento.



FONTE: Gerscovish (2016, p. 24).

2.1.5 Análise de estabilidade de taludes

O estudo de estabilidade tem como objetivo investigar a possibilidade de ocorrência de movimentação de uma porção do solo presente em taludes naturais ou construídos. Fator de segurança que estabelece a relação entre resistência ao cisalhamento disponível do solo para assegurar o equilíbrio deste em movimento (s) e a tensão cisalhante estática (S_m), resultante dos esforços que atuam sob o talude.

Para a análise, é feita então a relação entre movimento e tensão cisalhante estática em que se valor resultante do fator de segurança for maior que um, há uma estabilidade do talude, ou seja, os esforços atuantes são menores que os esforços resistentes do maciço. Valores de FS maiores que 1 indicam estabilidade, valores de FS menores do que 1 indicam instabilidade e valores de FS igual a 1 indicam condições limites de estabilidade (metaestabilidade).

As Tabelas 03, 04 e 05, determinam os fatores de segurança conforme a ABNT NBR 11682 (2008), em que primeiramente leva-se em conta a Tabela 03 e 04 na qual pode se observar o nível de segurança, e em seguida a Tabela 04 para determinar o Fator de segurança mínimo ($FS_{\min}$), que o projeto analisado será enquadrado.

Tabela 02: Níveis de segurança desejado contra perdas humanas.

Nível de segurança desejado contra perdas humanas		
Nível de segurança	de	Critérios
Alto		Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residências ou industriais, estádios, praças e demais locais urbanos, ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego intenso.
Médio		Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego moderado.
Baixo		Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Fonte: NBR 11682 (2008, p. 24).

Tabela 03: Níveis de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.

Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.		
Nível de segurança	de	Critérios
Alto		Danos materiais: locais próximos de propriedade de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte áreas que afetam serviços essenciais. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como em proximidades de oleodutos, barragens de rejeitos e fabricas de produtos tóxicos.
Médio		Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor moderado. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais moderados.
Baixo		Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Fonte: NBR 11682 (2008, p. 24).

Tabela 04: Fatores de segurança mínimos para escorregamento.

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

Fonte: NBR 11682 (2008, p. 24).

A qualificação do talude deve avaliar não só as condições em que estes se encontram, mas também como será usado a área futuramente, preservando o talude de cortes na base, desmatamentos, sobrecargas e infiltração ampla.

Segundo a ABNT NBR 11682 (2008), um resultado de ensaio geotécnico variado, ou seja, para um determinado local, os valores resultantes no ensaio não condizerem entre si, os fatores de segurança informados na tabela da norma devem ser majorados em 10%, ou como alternativa usar a probabilidade, sendo assim, os valores encontrados, poderão variar 0,1 para o estudo e além disso deve ser levado em conta as condições do local para determinar qual valor se aproxima mais da realidade.

É importante ressaltar que mesmo determinando um grau de segurança para o talude, é sempre bom realizar uma investigação geotécnica durante ou após a execução da obra, pois visa analisar as movimentações horizontais e verticais do talude e os níveis piezométricos.

2.1.6 Métodos para a análise de Estabilidade dos Taludes

Para determinar o fator de segurança existem dois métodos: a teoria de equilíbrio limite e a análise de tensões. A teoria do equilíbrio limite determina o equilíbrio de uma massa de solo que pode ser definida por uma superfície circular, poligonal ou de outra geometria. Esta teoria diz que a ruptura acontece em toda sua superfície e que todos os elementos nela contidos tem seu fator de segurança é igual a um, portanto, sua resistência ao cisalhamento e sua tensão de cisalhamento são iguais.

A Teoria de Equilíbrio Limite é aplicada a vários tipos de análise de estabilidade que são comumente realizados pela aplicação de um, a partir do método geral, método das fatias ou método das cunhas, como apresentado a seguir (GOMES, 2011).

- Método geral – as condições de equilíbrio são aplicadas a toda a massa de solo potencialmente instável, cujo comportamento se admite ser o de um corpo rígido;

- Método das fatias – a massa de solo potencialmente instável é dividida em fatias, geralmente verticais, e as condições de equilíbrio são aplicadas a cada uma das fatias isoladamente;
- Método das cunhas – a massa de solo potencialmente instável, dada a sua configuração e características resistentes, é dividida em cunhas, e as condições de equilíbrio são aplicadas a cada zona isoladamente.

A análise de tensão x deformação é realizada com o auxílio de programas que são fundamentados a partir dos métodos dos elementos finitos ou das diferenças finitas. Estes programas possibilitam fazer todas as considerações possíveis dos materiais envolvidos.

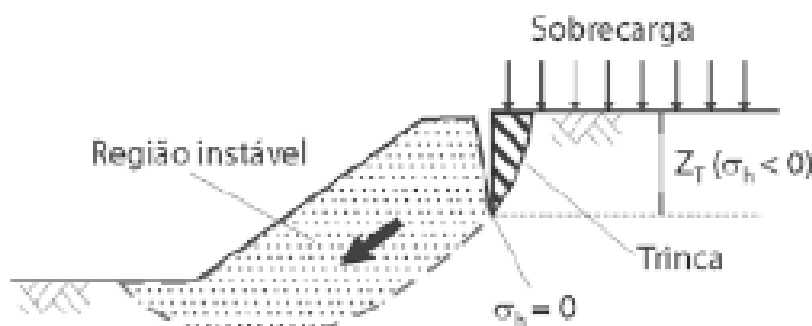
2.1.7 Método de equilíbrio limite

O Manual do programa SLIPE/W (KRAHN,2003), avalia que os métodos de equilíbrio limite possuem grandes semelhanças entre si, tendo-se apenas diferença nas equações estáticas, forças presente entre as fatias e a relação entre as forças normais e cisalhantes, sendo que os métodos “Spencer” e “Morgenster e Price” são os mais austerosos, já que levam em consideração todas as forças presentes nas fatias de um talude, satisfazendo as equações.

2.1.7.1 Método de Bishop simplificado

Em solos coesivos, o aparecimento de trincas de tração antes do deslizamento é comum. Essas trincas deixam de ajudar para estabilidade global do talude, conforme Figura 13. Se eventualmente as trincas forem preenchidas com água, é gerado um esforço sobre o talude adicional.

Figura 13: Trinca de tração.



Fonte: Gerscovich (2016, p. 103).

Este método considera o maciço de ruptura com forma circular. E a resultante das forças entre as fatias é horizontal e vertical. Além disso, o método oferece resultados mais próximos de métodos considerados mais exatos. Porém, autores como Whitman e Bailey (1967) e Wright (1975) apontam nesse método problemas quando se tratam de superfícies de ruptura com inclinação acentuada que se localizam próximas ao pé do talude.

2.1.7.2 Método de Spencer

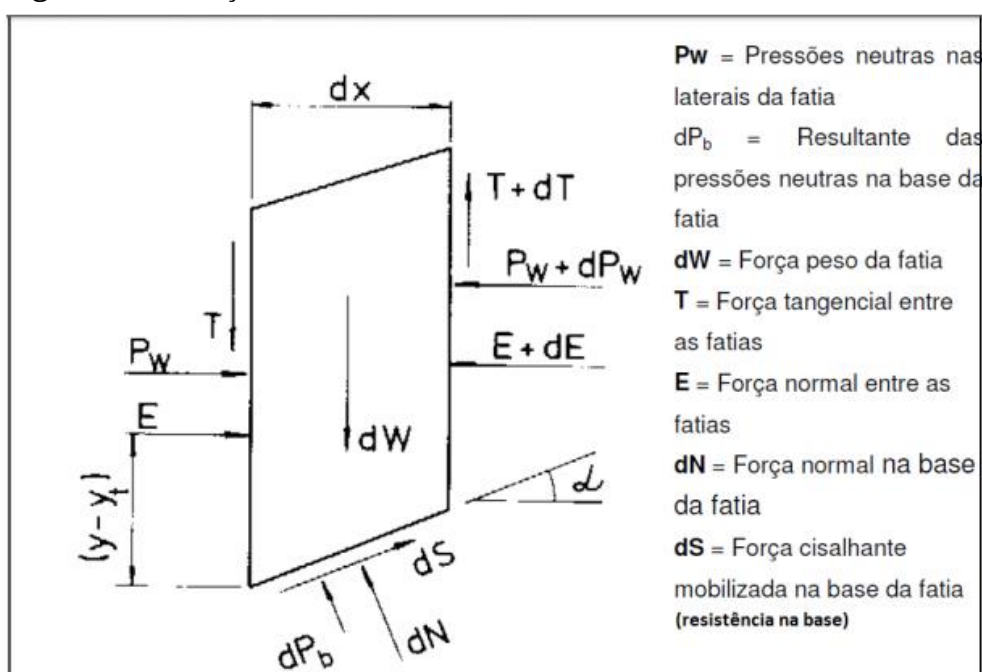
Este método é classificado como o mais rigoroso, pois considera todas as equações de equilíbrio de forças e momentos, tomando como paralelas as resultantes das forças de interação aplicadas a cada fatia. Este método foi criado para rupturas circulares, e mais tarde adaptado para outros tipos de superfícies. Das (2013) diz que o método Spencer considera as forças entre as fatias e o momento, tendo assim, dois fatores de segurança, em contrapartida o método de Bishop simplificado, considera apenas as equações de equilíbrio em relação ao momento.

Horst (2007), fala que para ter o resultado do FS final, os cálculos devem se repetir até que o equilíbrio de forças e momentos seja efetuado para todas as fatias do talude, se tornando portanto um valor único. O método Spencer é considerado o mais complexo e por isso perde espaço na área de engenharia, aonde optam por um método mais simples porém preciso também, como um exemplo o método de Bishop simplificado.

2.1.7.3 Método Morgenstern-Price

É um método considerado rigoroso que admite superfície de ruptura qualquer e satisfaz todas as condições de equilíbrio de forças e momentos (FERREIRA, 2012; TONUS, 2009). Gerscovich (2012), afirma que as fatias são compostas pela massa instável e os esforços que atuam nas fatias estão representados na Figura 14 a seguir. A determinação dos cálculos deve ser feita apenas por programas computacionais, pois este método necessita um grande número de iterações.

Figura 14: Esforços atuantes na fatia.



Fonte: Gerscovish (2012)

2.1.7.4 Método de Fellenius

Segundo Gerscovich (2016), trata-se de um método conservador, o qual foi desenvolvido a partir de uma análise estática do volume dividido em fatias de um certo material, que deve estar situado acima de uma superfície que poderia escorregar sua seção circular (FIORI, 2015).

Além disso, o método considera o equilíbrio de forças em sua direção normal, em que, caso possua pressões neutras elevadas, poderá induzir ao erro.

3. CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Neste capítulo está descrito o roteiro inicial da pesquisa, como tipo e local onde ela aconteceu, coleta de dados sobre a temática; descrição do instrumento de coleta e critérios utilizados para a análise do *corpus*.

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

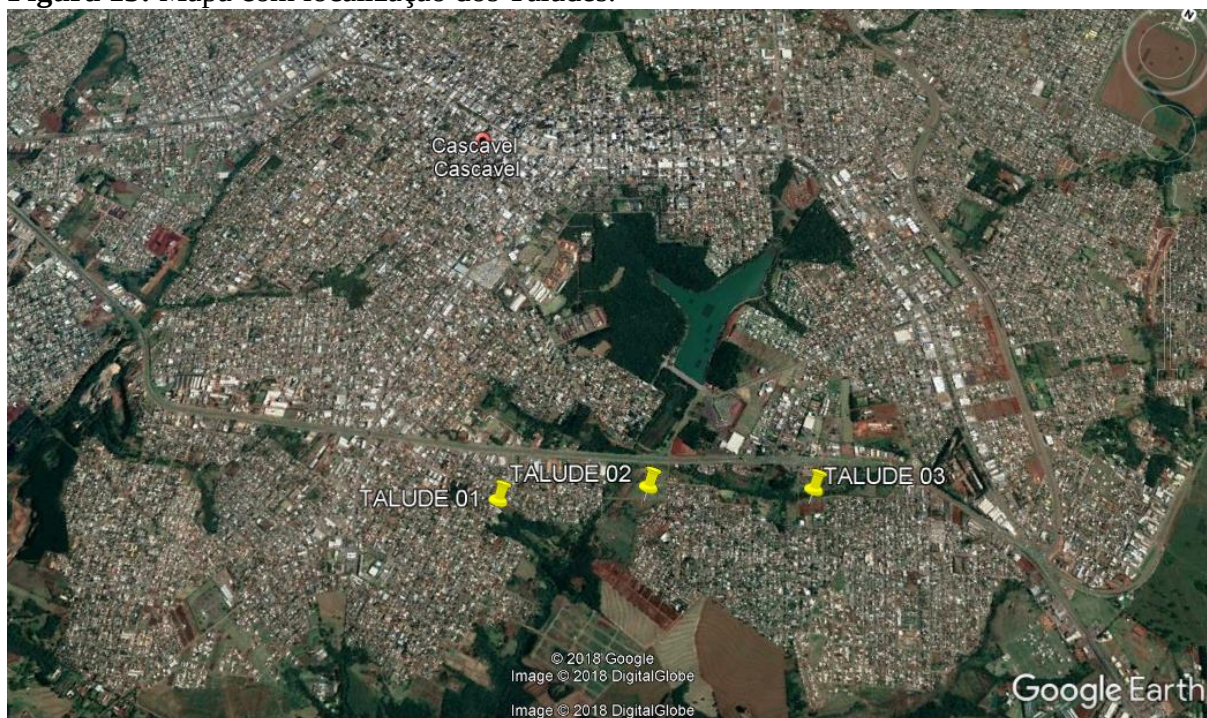
Cascavel é uma cidade situada no Oeste do estado do Paraná, que segundo o Portal do Município, era habitada por índios da tribo caigangues. A ocupação da cidade aconteceu em 1557. Porém, uma nova ocupação teve início a partir de 1730, com o tropeirismo, mas ainda segundo esse mesmo portal, o povoamento da área do atual município começou efetivamente no final da década de 1910, por colonos caboclos e descendentes de imigrantes eslavos, no auge do ciclo da erva-mate. Hoje, Cascavel tem uma população de aproximadamente 300 mil habitantes, sendo uma cidade destaque como polo econômico na região, além de ser um polo universitário, tendo uma população de mais de 21 mil estudantes, apenas no ensino superior. Além disso, é uma cidade de referência para a medicina e na prestação de serviços, por abranger um grande comércio, além de grande força no setor da indústria e agronegócio. Cascavel, está na segunda posição entre as 10 cidades que mais geram novos empregos.

Devido a sua grande importância no setor da economia e ao seu crescimento acelerado, a cidade não deixa que esses fatores gerem desconforto e insegurança à população por isso preza pelo respeito em relação à segurança dos moradores. Baseado nisso, nosso estudo foi realizado em áreas, as quais estão sujeitas a crescimento, porém, podem não apresentara segurança necessária para isto.

Para definir os mais instáveis foram levados em conta os critérios propostos por Crispim (2011), sendo eles a geologia (estrutura e constituição física), geometria (altura e inclinação), sobrecargas (análise do local para ver se possui materiais, construções, etc., depositados sobre o talude), teor de umidade (como o solo se comporta diante uma carga de chuva), fluxo de água subterrâneo, intemperismo atuando sobre o local e atuação de abalos, já que estes fatores são cruciais para alteração da resistência ao cisalhamento.

Portanto, a região de escolha do estudo foi a parte Sul de Cascavel-PR, conforme Figura 15 e a partir da escolha de três taludes que demonstravam trazer risco para as pessoas que ali habitam. Para isto, o mesmo foi realizado de forma quantitativa, já que segundo Marques (2017), os fenômenos foram compreendidos por meio de dados numéricos, apontando comportamentos do solo de análise, sendo feita a partir de medições e ensaios padronizados, trazendo resultados de forma correta que foram analisados rigorosamente.

Figura 15: Mapa com localização dos Taludes.



Fonte: Autoras.

Partindo deste pretexto, a escolha dos taludes da região foi feita a partir daqueles que apresentavam maior ângulo de inclinação e que aparentemente poderiam vir a apresentar algum problema, além de buscar aqueles que estavam próximos à áreas com habitações, comércio ou escolas.

3.1.1.1 Áreas de análise

Os taludes, como citados anteriormente se encontram na região Sul de Cascavel. O primeiro talude em análise, se encontra na Rua Gurgel, 495, Bairro Universitário, 85819-280 -

Cascavel/PR tendo como coordenadas $24^{\circ}58'50.64''\text{S}$ e $53^{\circ}26'31.60''\text{O}$ e está entre dois lotes com casas sobre o mesmo, conforme Figura 16.

Figura 16: Talude 01.



Fonte: Arquivo Pessoal.

O mesmo possui uma extensão de aproximadamente 25 metros, altura máxima de 7 metros, tendo um desnível, onde chega a 1,5 metros de altura. No local, verificamos a importância do estudo do mesmo, já que ao seu redor está um bairro, além de que o mesmo tem um ângulo de inclinação elevado, podendo apresentar risco à população que ali habita.

O talude 02, representado pela Figura 17, está localizado na Rua Pedro Baú, 230, Bairro Cascavel Velho, 85819-010 - Cascavel/PR, com coordenadas $24^{\circ}58'29.26''\text{S}$ e $53^{\circ}25'58.86''\text{O}$. No lote, que aparenta estar abandonado, e provável que por este motivo, sobre o mesmo se encontra lixo e entulhos, desde eletrônicos até móveis.

Figura 17: Talude 02.



Fonte: Arquivo Pessoal.

Verifica-se a importância do estudo no local, já que o mesmo se encontra em um bairro em crescimento, possuindo ângulo elevado e se encontra perto de moradias. Esse talude possui uma grande extensão, de aproximadamente 150 metros, porém, para o nosso estudo, foi considerado uma extensão de 17,7 metros, o qual era formado por um semicírculo, mas em toda sua extensão ele possui altura igualitária, sendo ela de aproximadamente 5,5 metros.

Já o Talude 03, se encontra na Rua Milão, 2-232, Bairro Cascavel Velho, 85818-400-Cascavel/PR com coordenadas $24^{\circ}58'9.17''\text{S}$ e $53^{\circ}25'20.28''\text{O}$. Em seu arredor, existem moradias e uma escola, conforme Figura 18.

Figura 18: Talude 03.



Fonte: Arquivo Pessoal.

O mesmo também apresenta um ângulo elevado, e se encontra perto de moradias, além de ser um local propício ao crescimento e pelo fato de próximo a ele se encontrar uma escola. Além disso, ele possui uma extensão de aproximadamente 50 metros, variando com alturas de 6 metros até 2,5 metros.

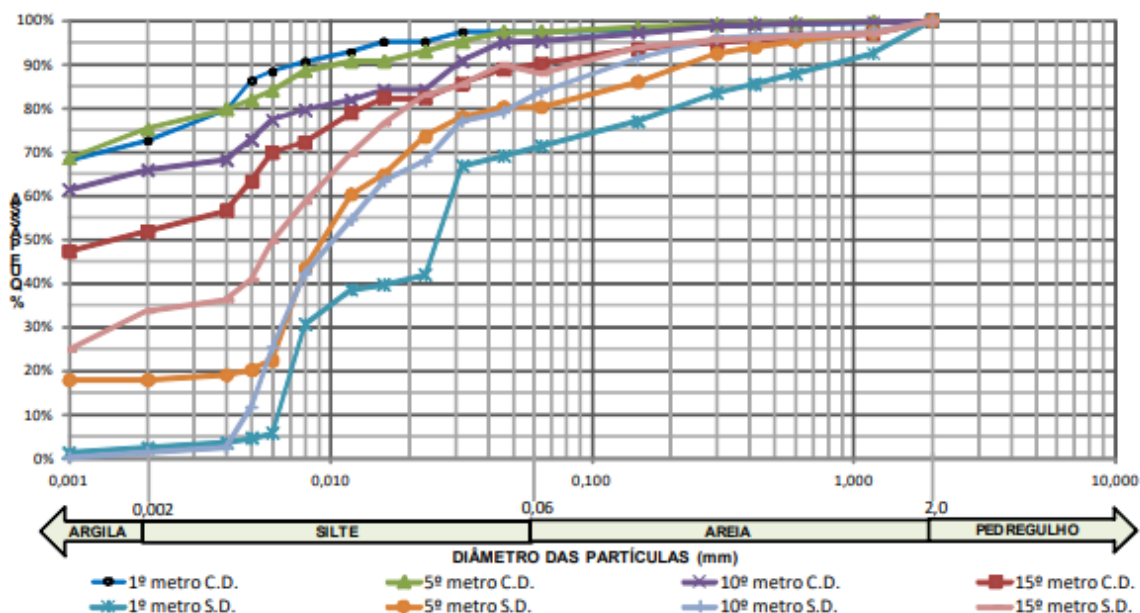
Portanto, foi realizado um ensaio triaxial com diversas amostras indeformadas dos taludes de análise, para que definissem uma envoltória de resistência coerente e válida, obtendo parâmetros de resistência ao cisalhamento de cada, como ângulo de atrito e intercepto de coesão, sendo então comparados com resultados de estudos já realizados no Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz com solo natural.

3.1.2 Caracterização do solo

O solo de Cascavel apesar de ser heterogêneo possui a mesma formação. Levando-se em conta isso, foi analisado e caracterizado por Zen e Almeida (2018), no Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, o subsolo ao longo de 15 metros de profundidade, através de um poço de inspeção e ensaios de laboratório.

Zen e Almeida (2018), realizaram diversos ensaios para caracterização do solo, sendo um destes o ensaio granulometria conjunto ao longo das camadas, em que os resultados estão apresentados na Figura 19.

Figura 19: Curvas granulométricas ao longo das camadas.



Fonte: Zen e Almeida (2018).

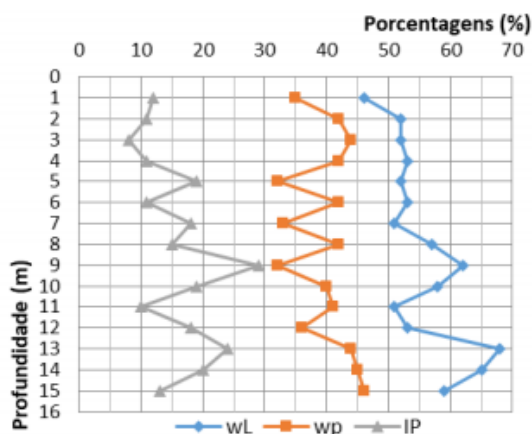
Portanto, por meio da análise das curvas, os mesmos concluíram que ocorre uma dispersão de partículas, mostrando assim que ocorre uma floculação delas fato este que ocorre devido no solo existir a presença de óxido de ferro, porcentagem de finos elevada e porosidade alta, características marcantes de um solo laterítico. Devido a quantidade de silte e argila observada no solo, sendo de 71,86% e 25,47% respectivamente classifica-se o mesmo como sendo uma argila siltosa marrom.

Outro aspecto observado por Zen e Almeida (2018), foi que com o uso de defloculante não foi possível definir propriedades de diâmetro efetivo, coeficiente de não uniformidade, não podendo-se estimar o coeficiente de permeabilidade. Isto acontece devido à grande presença de argila e silte.

Através disto, os mesmos constatam que se trata de um solo fino, naturalmente mal graduado já que apresenta grande índice de finos e baixa presença de material granular, e que com isso, o contato entre os grãos acontece de forma prejudicada e diminuindo a sua resistência do. Porém, apesar desta característica, quanto ao seu uso em pavimentação, ele terá boa estabilidade, fato que se deve por ele apresentar boa coesão, ser laterítico e apresentar minerais cimentícios.

Outros resultados relevantes para caracterização, são os obtidos através do Limite de Liquidez (wL) e Limite de Plasticidade (wP). Neles, segundo Zen e Almeida (2018), pode-se observar que apesar da profundidade, os valores se mantiveram estáveis e uniformes, tendo-se apenas variação no 9º metro de profundidade, motivo que se explica por provavelmente por ter havido uma mudança de solo, como podemos observar na Figura 20.

Figura 20: Índices de consistência do solo do CEEF.



Fonte: Zen e Almeida (2018).

Portanto, o solo ficou classificado como sendo um solo de Média Plasticidade. Os autores ainda pontuam, o valor do Limite de Liquidez ter sido alto, classificando o solo como compressível, podendo sofrer adensamento quando sob carregamento, sendo essa uma característica comum dos solos lateríticos, fato que leva o uso de fundações mais profundas.

Sendo assim, por meio do conjunto do resultado de todos os ensaios, os autores classificaram o solo por meio do Sistema Rodoviário (T.R.B.) e pelo Sistema Unificado de Solos (S.U.C.S.), em que através do TRB, o solo foi classificado como sendo A-7-6, ou seja, aplicação de regular a má para pavimentações, devido ao fato de apresentarem muitos finos e por meio do SUCS como sendo argilosos muito compreensíveis. Além disso, classificado através da plasticidade como sendo mediantemente plástico, devido à baixa quantidade de material grosso, tendo alto índice de plasticidade comparado com a liquidez fazendo assim, com que sofra elevadas variações.

3.1.3 Coleta de dados

Para cada talude analisado, foram coletadas diversas amostras indeformadas de solo, e para isso, o local escolhido foi sempre na altura mediana do talude e previamente nivelado, considerando sempre um solo com certa umidade, para que as amostras não quebrassem na hora da retirada.

Através de um amostrador metálico de parede fina e corte em ponta que possui dimensões de 12 cm de altura e 5 cm de diâmetro e base biselada, considerando uma margem para estar em seguida no laboratório, raspando para que se obtesse um corpo de provas com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro, padronizadas pelo ensaio triaxial, o amostrador, foi cravado no solo preenchendo todo seu tamanho, e assim foi escavado próximo a ele para ser retirado. Em seguida, essa amostra foi levada para laboratório de solos do Centro Universitário, Fundação Assis Gurgacz, onde por meio de um extrator de amostra, a mesma foi removida do molde, e com o auxílio de um paquímetro, para termos a medida correta da amostra. Realizou-se então, a raspagem sob um berço que auxilia a manusear a amostra correta sem que a mesma cisalhe, resultando em uma amostra com a altura de 10 cm, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21: Detalhe do molde metalico, extração e talhagem das amostras



Fonte: Arquivo Pessoal.

Após esse processo, com o solo proveniente da raspagem, o mesmo foi colocado em uma estufa durante 24 horas, para que se obtivesse a umidade do solo analisado e por fim foi feita a pesagem da amostra, para inserir no *Software*.

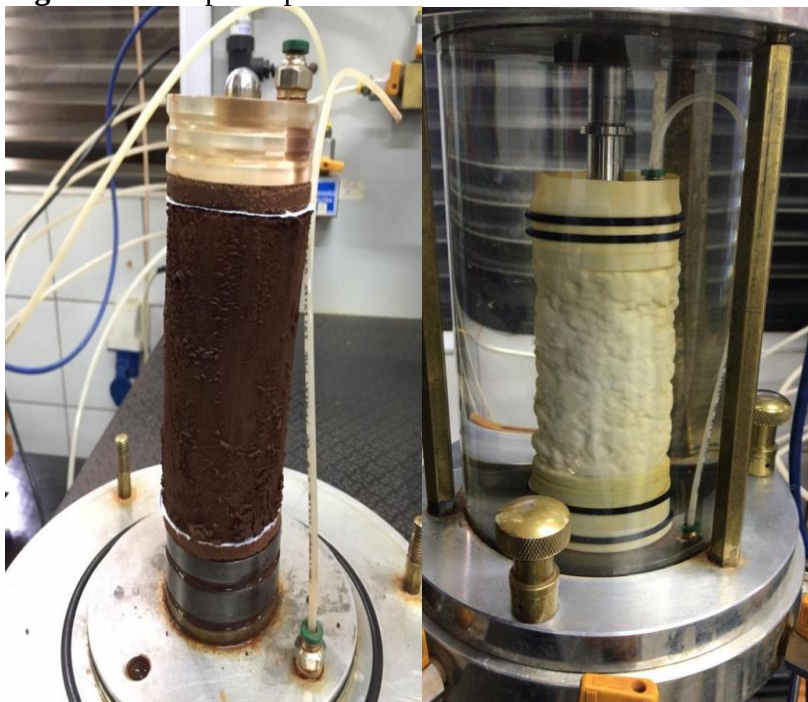
3.1.4 Ensaio de compressão triaxial

Os ensaios foram realizados no laboratório de Mecânica dos solos II do Bloco de Engenharia no Centro Universitário, FAG e este ensaio teve como intuito determinar a resistência ao cisalhamento do talude estudado. Foram retiradas diversas amostras de solos dos taludes em questão, porém levados em conta apenas três resultados que formaram as envoltórias de resistência a partir dos ensaios e com o auxílio do *software* ter resultados mais precisos.

Neste trabalho foi realizado o ensaio triaxial adensado rápido com leitura de pressão neutra (CU), tendo um adensamento inicial e em seguida o ensaio de cisalhamento para se obter os dados característicos deste solo. Com este método de análise é possível apresentar resultados mais próximos ao comportamento do solo em geral (MARANGON, 2009).

As amostras de solo receberam o tratamento descrito abaixo para a produção do corpo de provas desta pesquisa. Portanto, sob a base da câmara de compressão triaxial foi colocado um pedaço de papel filtro e uma pedra porosa e então sob o filtro e pedra o corpo de prova retirado do pé do talude. Após isso foi colocada mais uma camada de papel filtro e pedra porosa no corpo de prova, instalando o cabeçote sob a pedra porosa. Em seguida, circundou-se o corpo de prova com uma membrana de látex com o auxílio de um expansor de membrana para fixá-lo com os "O" ring. Na base da câmara e no cabeçote, introduziu-se uma mangueira. Em seguida travou-se a câmara de compressão e encheu-se com água, para que todo ar contido em volta fosse expelido pelo extravasor superior e assim quando finalizado, foi acoplado à câmara na prensa para a realização do ensaio de compressão triaxial, conforme Figura 24.

Figura 22: Corpo de prova sob a câmara.



Fonte: Autoras, 2018.

3.1.4.1 Procedimento do ensaio de compressão axial

Com o equipamento ligado, e conectado ao notebook, foi preciso verificar se os transdutores estavam lendo corretamente e só assim foi possível inserir os valores de altura, diâmetro e massa da amostra, cadastrando assim o corpo de prova para o ensaio, outros dados necessários para realizar o ensaio são os valores de pressão neutra e pressão confinante.

Em seguida, encheu-se de água a câmara da prensa que seriam utilizadas durante o ensaio. Para realizar o adensamento preliminar da amostra foi utilizado uma combinação de tensões de 2 kg/cm^2 para a tensão da câmara e 1 kg/cm^2 para contrapressão (do corpo de prova) assim estabelecendo uma tensão confinante (σ_3) de 1 kg/cm^2 .

No *software*, após abrir a aba de adensamento, verificou-se as pressões e então foram fechados os registros da pressão de controle, volume e pressão neutra. “Para dar início ao adensamento, é preciso simultaneamente abrir o registro de medição de volume e apertar o botão “Iniciar” no *software*, para que a medição de volume seja mais precisa. O ensaio foi finalizado apenas quando havia três pontos sem variação de volume, ou seja, quando o adensamento do corpo de prova estivesse concluído.

Com o adensamento concluído, foram fechados os registros de medição de volume e assim, foi realizado o registro da variação volumétrica máxima apresentada pelo corpo de

prova. Na Tabela 06, é possível verificar os valores que foram adotados para as pressões de confinante e de contrapressão, que são solicitadas pelo programa. Para assim se obter a tensão confinante do corpo de prova, que são obtidas pela diferença ‘ da câmara e a tensão de contrapressão. Logo, este valor foi o utilizado para a realização do ensaio de cisalhamento do corpo de prova.

Tabela 06: Valores de pressões para os taludes.

TALUDE 01	CP 01	CP 02	CP 03
Câmara (σ_1)	0,50 kgf/cm ²	2,00kgf/cm ²	2,50 kgf/cm ²
Contrapressão (σ_2)	1,00 kgf/cm ²	1,00kgf/cm ²	1,00 kgf/cm ²
Confinante (σ_3)	0,50 kgf/cm²	1,00kgf/cm²	1,50 kgf/cm²

TALUDE 02	CP 01	CP 02	CP 03
Câmara (σ_1)	0,50 kgf/cm ²	2,00 kgf/cm ²	2,50 kgf/cm ²
Contrapressão (σ_2)	1,00 kgf/cm ²	1,00 kgf/cm ²	1,00 kgf/cm ²
Confinante (σ_3)	0,50 kgf/cm²	1,00 kgf/cm²	1,50 kgf/cm²

TALUDE 03	CP 01	CP 02	CP 03
Câmara (σ_1)	0,50 kgf/cm ²	2,50 kgf/cm ²	3,00 kgf/cm ²
Contrapressão (σ_2)	1,00 kgf/cm ²	1,00 kgf/cm ²	1,00 kgf/cm ²
Confinante (σ_3)	0,50 kgf/cm²	1,50 kgf/cm²	2,00 kgf/cm²

Fonte: Autoras,2018.

No *software* abriu-se aba para ruptura do corpo de prova, e então inserida a velocidade de ruptura no valor de 0,112 mm/min. Referente a velocidade, segundo Gerscovich (2010), ela tem relação direta à resistência ao cisalhamento, ou seja, quanto menor for a velocidade, menor será o excesso de poro pressão gerados por carregamentos rápidos, e consequentemente sua resistência ao cisalhamento será mais precisa. Após inserir a velocidade, foi feito a verificação dos leitores de deslocamento e carga axial. E então, foram abertos todos os registros e apenas o registro de medição de volume permaneceu fechado. Já na aba de adensamento foi preciso inserir as pressões nos locais indicados do programa, colocando a tensão de contrapressão conforme os valores escolhidos e descritos na tabela acima. Em seguida apertou-se novamente no botão “Iniciar” do programa.

Os ensaios eram finalizados quando o corpo de prova atingia uma deformação de 20% da sua altura inicial ou quando a máquina automaticamente concluía o ensaio entendendo-se que o corpo de prova havia cisalhado antes dos 20% de deformação, conforme Figura yy. O ensaio durou aproximadamente 03 h e 30 min, para que se obtivesse um resultado mais preciso e assim os dados alcançados eram salvos e analisados para a produção dos resultados.

Abaixo, na Figura 23 é possível ter uma análise visual do impacto de deformação e conservação da amostra.

Figura 23: Corpo de prova ao término do ensaio.



Fonte: Arquivo Pessoal.

Após a realização de três ensaios de um mesmo talude, foi gerada a envoltória de resistência a partir dos ensaios triaxiais realizados, nas quais foi definido o ângulo de atrito e o intercepto coesivo das amostras de cada talude analisado e assim, utilizar os dados em programas para analisar a estabilidade dos taludes.

3.1.4.2 Software “Geostudio”

Mediante aos resultados gerados pelo ensaio de compressão triaxial, é possível realizar análise dos taludes através do programa *Geostudio*, no módulo de Slope/w, sendo ele um programa utilizado mundialmente na área da Geotécnica.

Este programa permite calcular o fator de segurança (FS) por meio de vários métodos mundialmente difundidos para a análise de equilíbrio limite, possibilitando examinar taludes heterogêneos, que apresentam geometrias complexas, considerando superfícies de ruptura e poro pressão. Cada método pode realizar a análise considerando todas as cargas envolvidas ou não, onde acabam tendo diferenças e pelo software é possível comparar os resultados dos fatores entre todos os métodos. (GEO SLOPE INTERNATIONAL LTD, 2016).

O SLOPE/W tem como objetivo verificar a estabilidade de taludes para encostas de solos e rochas. Ele tem potencial para analisar problemas simples e complexos para várias

formas de superfícies de deslizamento, e ainda a análise de poro pressão, propriedades do solo e condições de carga. E por este motivo foi escolhido este método para análise dos taludes.

Ao escolher o tipo de análise *Slope/w*, foi aberto a aba (Figura 24) onde é possível escolher o método mais apropriado, sendo assim escolhemos os métodos mais usuais Bishop, Spencer, Morgenster-Price e Fellenius. Logo após, foi possível inserir todos os dados necessários para a análise, incluindo a linha piezométrica e número de fatias que consideramos. Como nos taludes analisados não foi encontrado lençol freático próximo a superfície, foi selecionado “nenhum” no item de poro pressão.

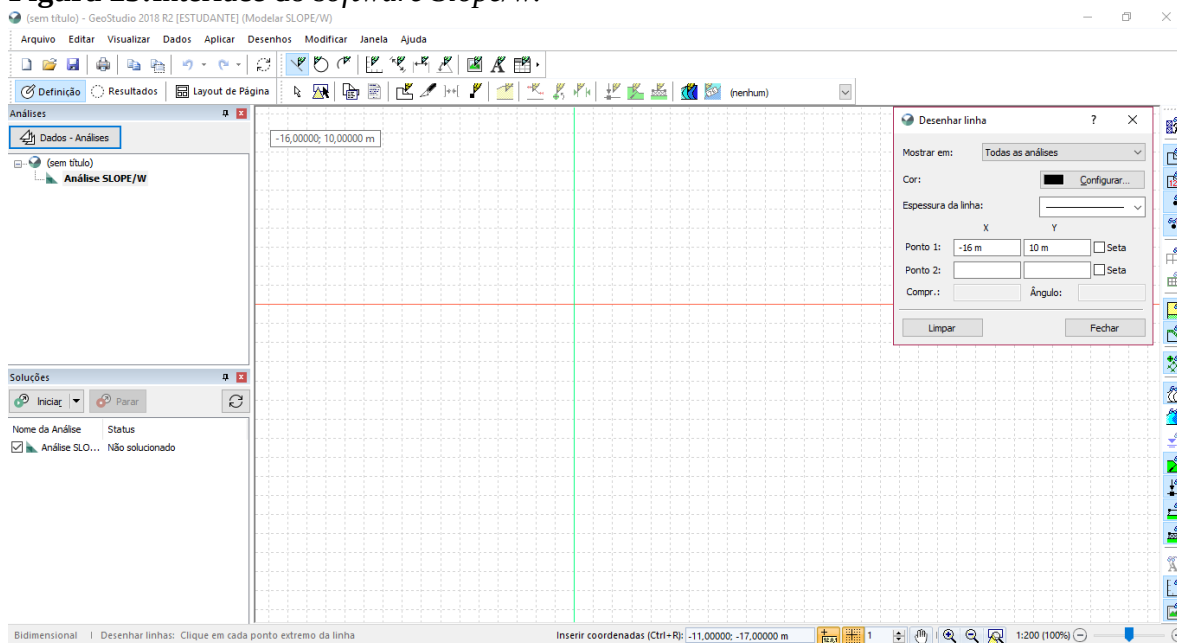
Figura 24: Aba para escolha do método.

The screenshot shows the 'Configurações' tab of the software. At the top, there are fields for 'Nome:' (Estabilidade de Taludes) and 'Descrição:'. Below these is a 'Parente:' dropdown set to '(nenhuma)'. The 'Tipo de Análise:' dropdown is set to 'Bishop' and is circled in red. Below the tabs, the 'Poropressão de:' dropdown is set to 'Linha Piezométrica' and is also circled in red. There are two checkboxes: 'Aplicar o ajuste da linha freática' (checked) and 'Análise de rebaixamento rápido em estágios (Duncan et al., 1990)' (unchecked). Below these is a section for 'Análise pseudo-estática em estágios:' with a dropdown set to '(nenhuma)' and a list of options: '(nenhuma)', 'Resistência Não Drenadas (Duncan et al., 1990)', 'Resistência em Tensões Efetivas', and '(nenhuma)'. At the bottom, the 'Peso específico da água:' is set to '62,430189 pcf'.

Fonte: Autoras (2018).

A interface do *software* representada da Figura 25, traz várias possibilidades. Pode estar realizando o desenho da geometria no talude no próprio programa ou até mesmo exportando do Auto CAD, e ainda é possível inserir os materiais componentes do mesmo. Na Figura representada abaixo, também é possível analisar a geometria de um dos taludes analisados, e desta forma o desenho de todos os taludes foram realizados iguais.

Figura 25: Interface do software Slope/w.

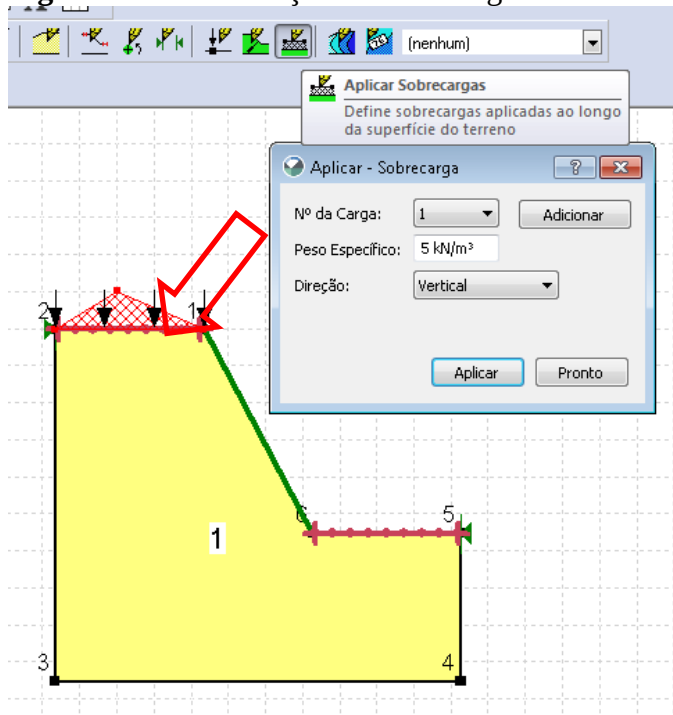


FONTE: Autoras (2018).

Em seguida foram inseridos os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo (coesão e ângulo de atrito) e peso específico determinados nos ensaios triaxiais realizados em laboratório, localizados na aba de materiais.

Logo após, foi preciso inserir dados como sobrecarga que devem ser aplicadas ao longo de sua superfície, isso se houver sobrecargas exercidas sob o talude. Neste caso os taludes se apresentam próximos a moradias e escolas resultando assim em sobrecargas na superfície dos taludes. Conforme ABNT NBR 7188 (2013), locais com baixo tráfego devem ser dimensionados com uma carga distribuída de 5 kN/m^2 , pois se faz necessário considerar a existência de pedestres devido a colégios e moradias próximos ao talude, para que assim se tenha um dimensionamento mais seguro. Na Figura 26, observa-se a localização da sobrecarga e valor considerado para todos os taludes.

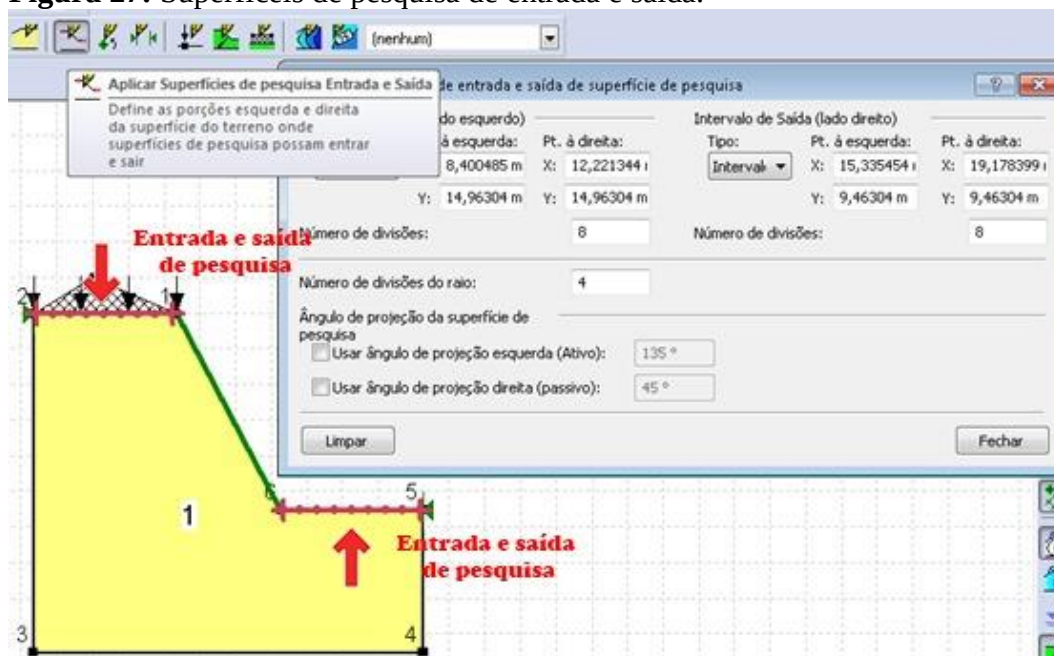
Figura 26: Determinação da sobrecarga existente no talude.



Fonte: Autoras, 2018.

E por fim, é preciso delimitar qual a área de pesquisa selecionada para a análise de estabilidade, para que *software* consiga traçar as cunhas de deslizamento prováveis. Deve-se indicar onde iniciam o trecho de entrada e saída do talude analisado. Na Figura 27, a área de pesquisa é representada por traços vermelhos.

Figura 27: Superfícies de pesquisa de entrada e saída.

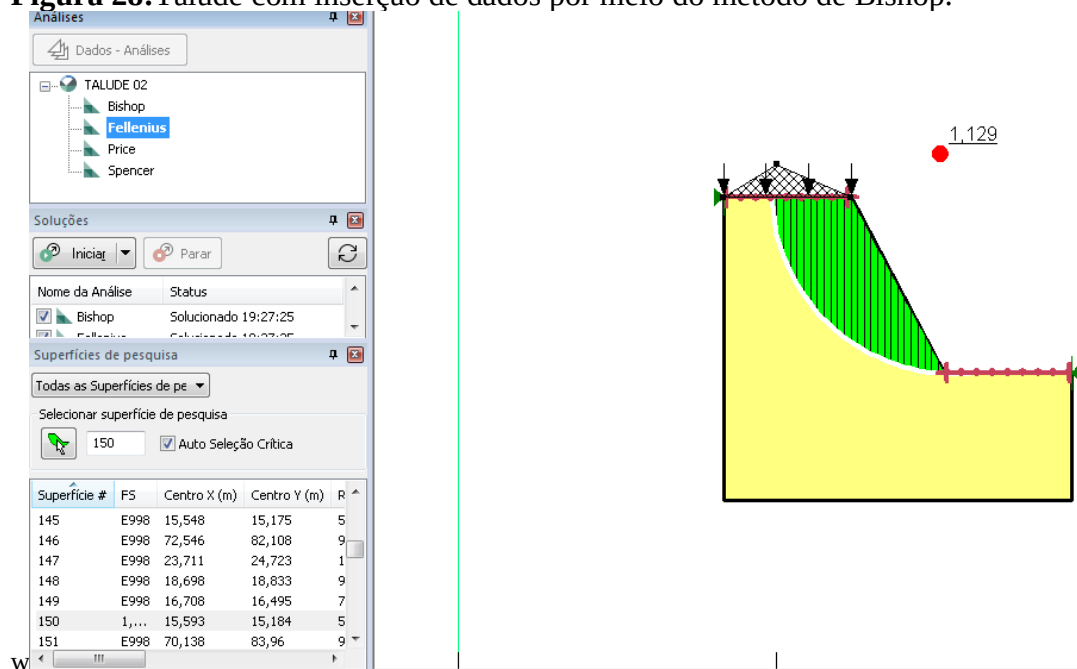


Fonte: Autoras, 2018.

Com os dados iniciais pré-estabelecidos, por meio da inserção do método de análise escolhido gerou-se os fatores de segurança, as forças atuantes e os gráficos de visualização. Na Figura 28, pode-se observar os resultados que o software determina, resultando num fator de segurança (FS) para cada fatia, e assim realizar a análise do FS mais crítico para o talude em si.

O fator de segurança apresentado na imagem é determinado pelo círculo completo considerando o ponto. Cada lamela tem um equilíbrio de carga, e então são consideradas as forças que cada lamela apresenta, os momentos solicitantes gerados pelas forças e os momentos resistentes gerados pela resistência ao cisalhamento natural do solo (dado pelo ângulo de atrito e coesão fornecidos do solo).

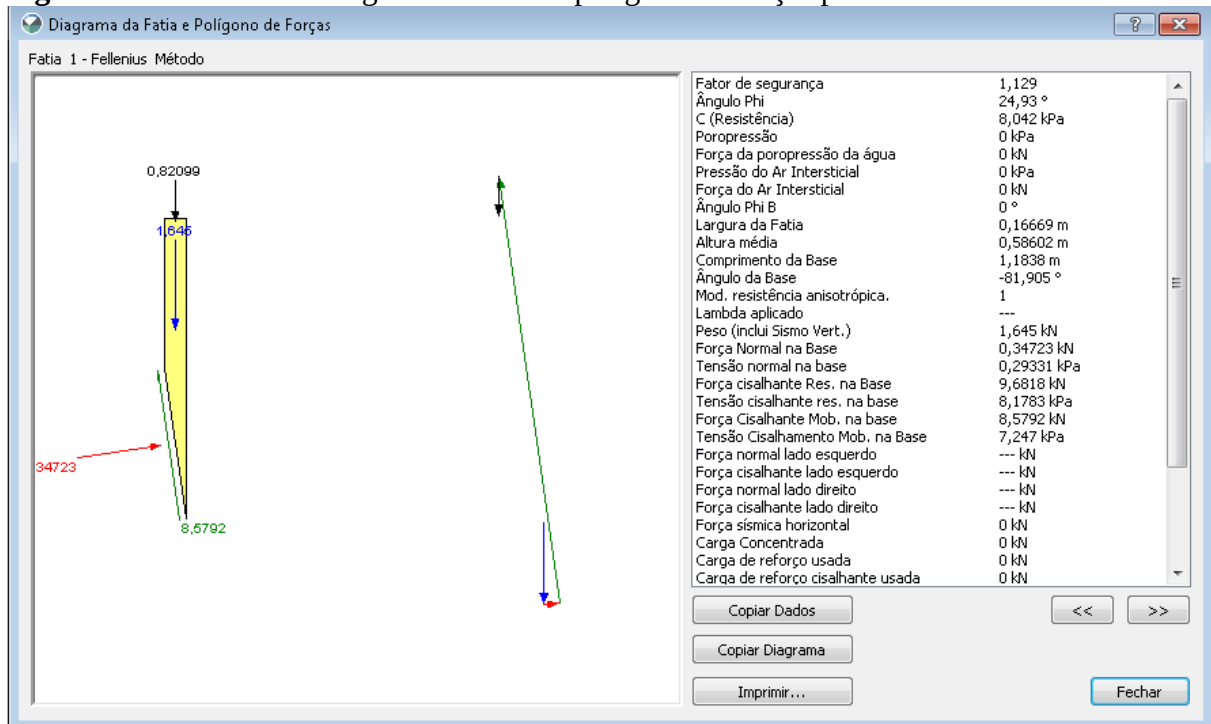
Figura 28: Talude com inserção de dados por meio do método de Bishop.



Fonte: Autoras, 2018.

E na Figura 29, é possível fazer a emissão de um relatório de diagrama da fatia e polígono de forças, ele apresenta todos os dados gerados pelo programa. Tendo informações como, fatores de segurança por fatia, ângulo de atrito do solo, coesão inserida, largura da fatia analisada, altura média, entre outras.

Figura 29: Relatório de diagrama da fatia e polígono de forças pelo método de Fellenius.



Fonte: Autoras, 2018

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados na sequência são resultantes da coleta de amostras indeformadas realizadas nos taludes apresentados anteriormente, e que foram submetidas a ensaio triaxial para se obter as envoltórias de resistência, além da secagem em estufa da mesma, gerando os índices físicos do solo.

Portanto, no período dos meses de agosto a outubro, as amostras foram coletadas, e posteriormente realizados ensaios triaxiais, determinando as envoltórias. Com uma pequena amostra do solo recolhida nos taludes e posteriormente secadas em estufa, foram determinados índices físicos para caracterização do solo, além de utilizar o peso específico dos sólidos baseado em trabalho realizado por Zen e Almeida (2018), da sua primeira camada de solo.

4.1 ANÁLISE DOS TALUDES

Os taludes em questão apresentam características específicas, devido a suas diferentes localizações, umidade presente no solo e seu ângulo de inclinação, portanto, para o Talude 01, foram feitos seis cortes ao longo dele, distanciados a cinco metros entre si, totalizando 25 metros de análise. Para o Talude 02, por se tratar de um talude formado a partir de um semicírculo, foram coletadas informações em cada canto do mesmo e no centro, tendo-se assim 3 seções ao longo do talude de análise. Já no Talude 03, por ser um dos maiores da análise, foram feitas 6 seções, distanciadas entre si dez metros, totalizando 50 metros de análise. Dessa forma, obteve-se a informação da inclinação dos Taludes, para posteriormente gerar seus respectivos fatores de segurança.

Além destas medidas, em cada sessão do talude foram coletadas medidas verticais e horizontais, para que, fosse possível determinar o ângulo de inclinação do talude. Por se tratar de taludes com inclinação constantes, as mesmas foram coletadas a uma altura (medida vertical) de dois metros, determinando o ângulo de inclinação, conforme apresentado na Tabela 08.

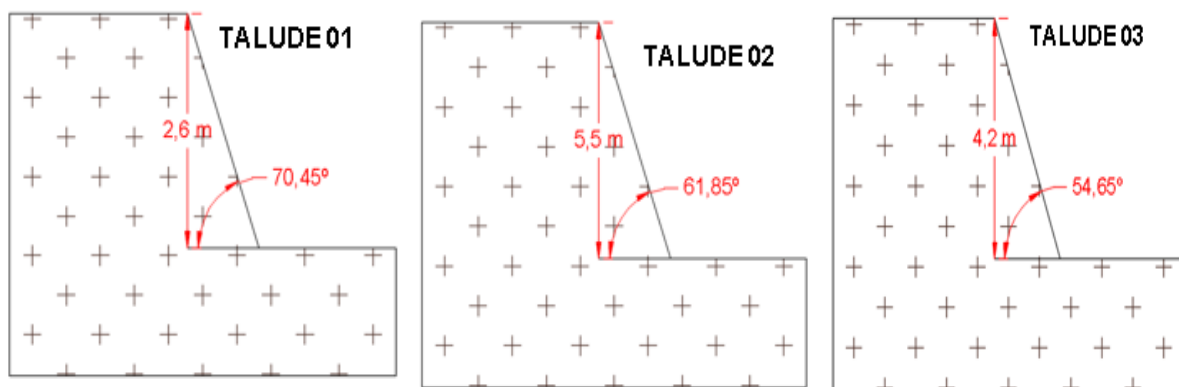
Tabela 05: Medidas das sessões.

Talude	Sessão	Medida Vertical	Medida horizontal (m)	Medida hipotenusa (m)	Ângulo de inclinação (°)
1	1	2	0,79	2,15	68
	2	2	1,28	2,37	57
	3	2	1,1	2,28	61
	4	2	0,82	2,16	67
	5	2	0,71	2,12	70
	6	0,9	0,44	1,00	63
2	1	2	1,07	2,26	61
	2	2	1,49	2,49	53
	3	2	1,29	2,37	57
3	1	2	1,45	2,47	54
	2	2	1,54	2,52	52
	3	2	1,61	2,56	51
	4	2	1,42	2,45	54
	5	2	1,46	2,47	53
	6	2	1,78	2,67	48

Fonte: Autoras (2018).

Através da tabela pôde-se observar que os valores de inclinação do talude são estáveis entre si, tendo-se pequenas variações ao longo do seu comprimento. Sendo assim para cada talude foi analisado a sessão que possuía o maior risco de instabilidade, ou seja, aquela que apresenta maior ângulo de inclinação.

Portanto, para análise do talude 1, foi utilizada a sessão 5, cuja inclinação é de $70,45^\circ$, já para o talude 2, foi utilizada a sessão 1, a qual tem inclinação de $61,86^\circ$ e para o talude 3, a sessão de análise foi a 4, com grau de $54,65^\circ$, conforme Figura 30.

Figura 30: Esquema das sessões mais críticas.

Fonte: Autoras.

4.2 DEFINIÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS

Através da coleta de solo, uma parte foi destinada à secagem em estufa a 110° graus Celsius durante 24 horas, para que posteriormente fosse realizada a coleta de informações sobre os mesmos referente aos índices físicos do material, como peso específico, umidade, índice de vazios, entre outros.

Foi possível observar que o talude 01 apresenta umidade uniforme, já os taludes 02 e 03 apresentam umidade variante entre si e isso se deve ao fato, de que as amostras não foram todas coletadas nos mesmos dias, podendo assim, variar os valores de umidade de uma amostra para a outra.

Portanto, a partir destes valores obtidos do solo e levando-se em conta o Peso Específico dos Sólidos estabelecido por Zen e Almeida (2018), sendo 26,67 kN/m³ e o Peso Específico da água sendo 10 kN/m³ conforme bibliografia, foi possível estabelecer os índices físicos médios para cada talude, os quais estão apresentados na Tabela 06.

Tabela 06: Índices físicos Talude 01.

	Talude 1	Talude 2	Talude 3
Peso específico natural (kN/m³)	16,1	16,8	16,4
Peso específico seco (kN/m³)	11,4	12,8	14,0
Peso específico saturado (kN/m³)	17,1	18,0	18,7
Umidade (%)	42	33	19
Índice de vazios	1,3	1,1	0,9
Porosidade (%)	57,1	52,0	47,5
Grau de saturação (%)	83	75	45,7

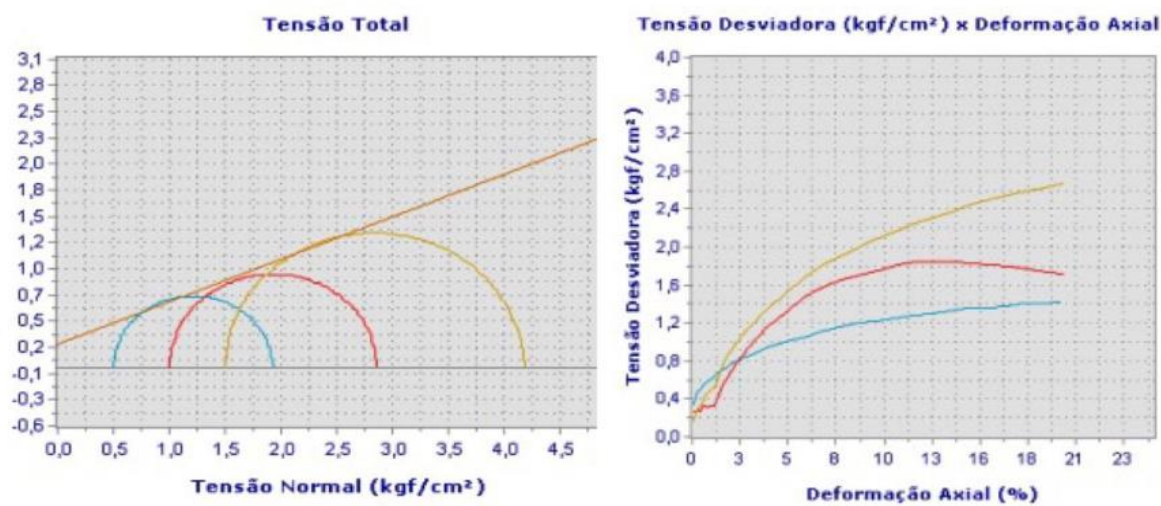
Fonte: Autores (2018)

Pode-se observar o valor de cada índice por amostra, e ao final de cada linha, o valor médio dos mesmos, portanto, apesar de se tratar de três taludes em locais diferentes, os mesmos apresentam valores de peso específico natural, seco e saturado, semelhantes entre si, confirmando a hipótese de que o solo da cidade, em seus diferentes pontos, apresenta diferenças na umidade, porosidade e afins, porém, não mudam suas propriedades.

4.3 ENSAIO DE CISALHAMENTO

Para o Talude 01, foram realizados cerca de sete ensaios, até que foram obtidos três com resultados coerentes. Portanto, após realiza-lós, obteve-se como intercepto de coesão o valor de 23,53 kPa e ângulo de atrito de 22,78°, conforme apresentado na Figura 31.

Figura 31: Resultados dos ensaios do Talude 01.

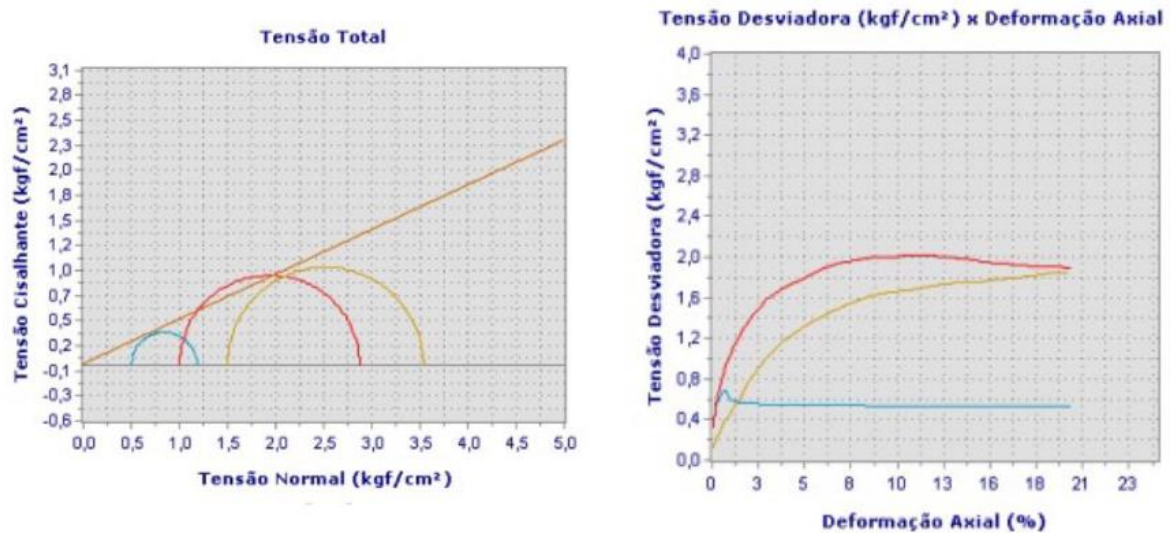


Fonte: Autoras (2018).

Na Figura, está dividido em gráfico de tensão total, o qual são os valores utilizados para a moldagem no *Software GeoStudio*, e o de tensão desviadora apresenta os valores de ruptura. Pode-se observar que o intercepto de coesão encontrado, é bastante alto comparado ao de Zen e Almeida (2018), o que sugere um solo com alta resistência e que possivelmente apresentará o valor do FS elevado.

Para o Talude 02, obteve-se um ângulo de atrito de 24,93° e um intercepto de coesão de 1,96 kPa. Em comparação com Zen e Almeida (2018), pode-se observar que o intercepto de coesão foi abaixo, o que provavelmente indica um talude com baixa estabilidade. Na Figura 32, pode-se observar os resultados.

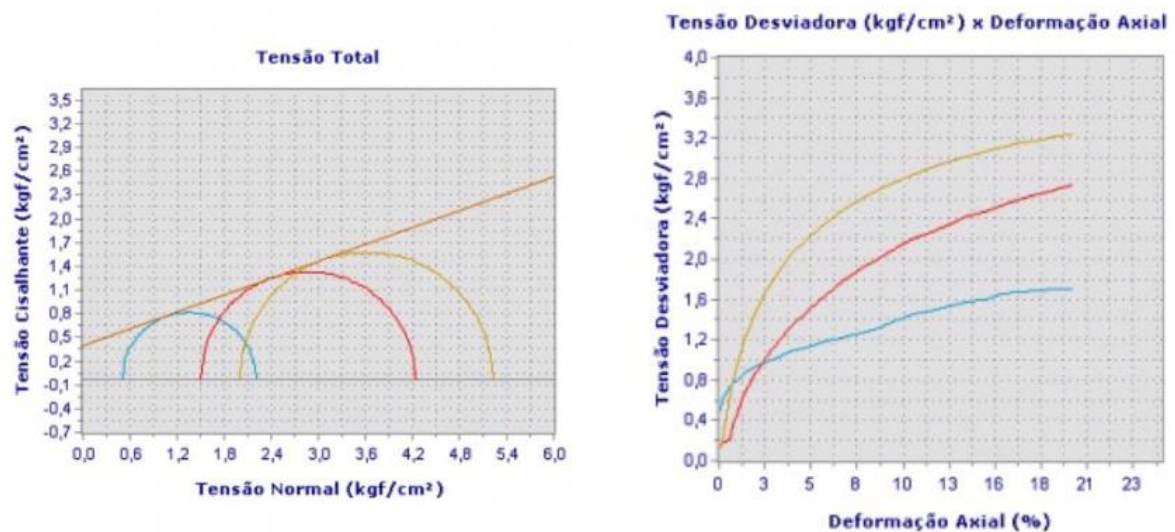
Figura 32: Resultados dos ensaios do Talude 02.



Fonte: Autoras (2018).

Nos ensaios realizados para o Talude 03, o mesmo apresentou valor de intercepto de coesão, elevado assim como o do Talude 01, sendo os valores gerados em ensaio de 42,17 kPa para o intercepto de coesão e de $19,65^\circ$ para ângulo de atrito, conforme apresentado na Figura 33.

Figura 33: Resultados dos ensaios do Talude 03.



nte: Autoras (2018).

Verificou-se então, que os Taludes 01 e 03 apresentaram maior valor de intercepto de coesão, o que possivelmente indicará maior estabilidade, enquanto o intercepto de coesão gerado para o Talude 02 foi menor, o que possivelmente indicará menor estabilidade.

Portanto, as tensões utilizadas para realização da verificação da segurança dos taludes em seguida, são as tensões totais, já que as mesmas apresentam coeficientes mais conservadores, sendo elas, mais seguras e condizentes com a realidade, levando-se sempre em conta que em épocas de chuvas, por exemplo, o contato entre os grãos é prejudicado, trazendo maior risco para os que habitam em volta, sendo essa uma situação de maior instabilidade.

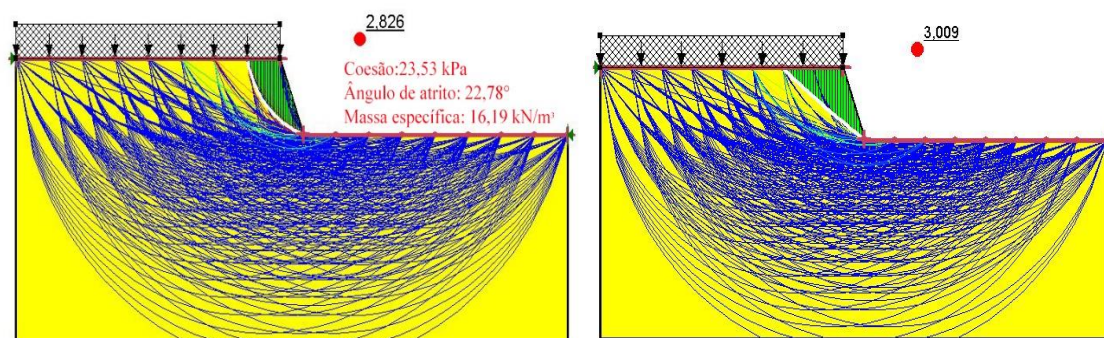
4.4 MODELAGEM NUMÉRICA

Para realizar a análise de estabilidade para os taludes estudados foi utilizado o software GeoStudio 2018/R2, com o módulo de análise Slope/W. Com a intenção de analisar a estabilidade da seção mais crítica dos taludes, foi verificado o FS de vários cortes distintos do talude.

4.4.1 Talude 01

Para o Talude 01, foram feitos seis cortes a cada dez metros de distância. Com a intenção de se obter o FS mais crítico de cada talude, foi utilizada a seção com maior ângulo, pois o pior talude é aquele que possui maior ângulo de inclinação, conforme Figura 37. Sendo assim para o Talude 01 foi utilizado a seção 05, com um ângulo de inclinação no valor de $70,45^\circ$. Foram utilizados para a análise dos taludes os índices físicos de resistência obtidos no ensaio de cisalhamento, sendo para o Talude 01, uma coesão de 23,53 kPa e ângulo de atrito $22,78^\circ$. Na Figura 34 a seguir, é possível observar através do círculo de deslizamento o maior e o menor fator de segurança do Talude 01.

Figura 34: Fatores de segurança do Talude 01.



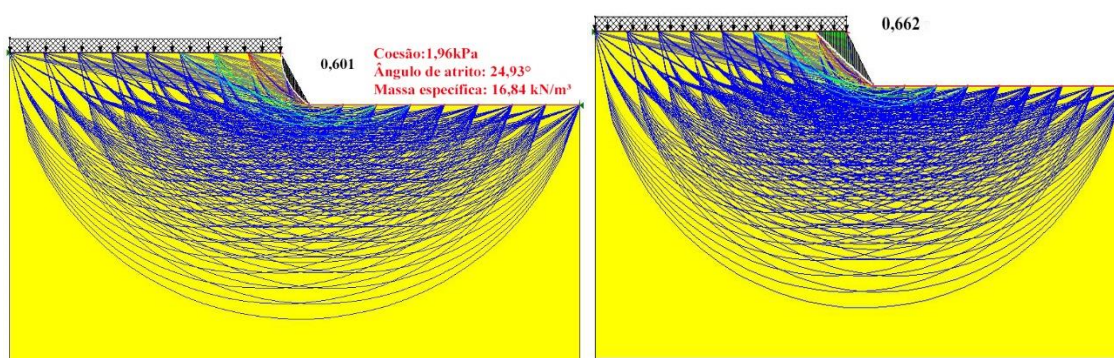
Fonte: Autoras, 2018.

O Talude 01 apresentou um fator de segurança crítico de 2,826 obtido pelo método de Fellenius e seu maior fator de segurança resultou num valor de 3,009 obtido pelo método de Spencer e Morgenster-Price, conforme a Figura 37 acima. Esta diferença entre métodos ocorreu, porque o método de Spencer e de Morgenster –Price considera todas as equações de equilíbrio de forças e momentos, tomando como paralelas as resultantes das forças de interação aplicadas a cada fatia. Já o método de Fellenius apesar de ser um método conservador, não considera todas as equações. Esta justificativa se aplica para todos os outros taludes, já que todos foram obtidos pelo método de Fellenius (menor FS), Morgenster-Price e Spencer (maior FS).

4.4.2 Talude 02

No Talude 02 foram feitos três cortes a cada dez metros, utilizando a mesma análise feita no talude 01, onde para se obter o menor FS, utilizamos a seção que possui maior ângulo de inclinação. Para o Talude 02 o maior ângulo de inclinação foi de $61,85^\circ$, sendo ele encontrado na seção 01. As propriedades do solo encontradas pelo ensaio triaxial, foram para o Talude 02, uma coesão de 1,96 KPa e ângulo de atrito $24,93^\circ$. Na Figura 35, é possível observar os fatores de segurança do Talude 02, sendo eles o maior e o menor entre todos os métodos.

Figura 35: Fatores de segurança do Talude 02.



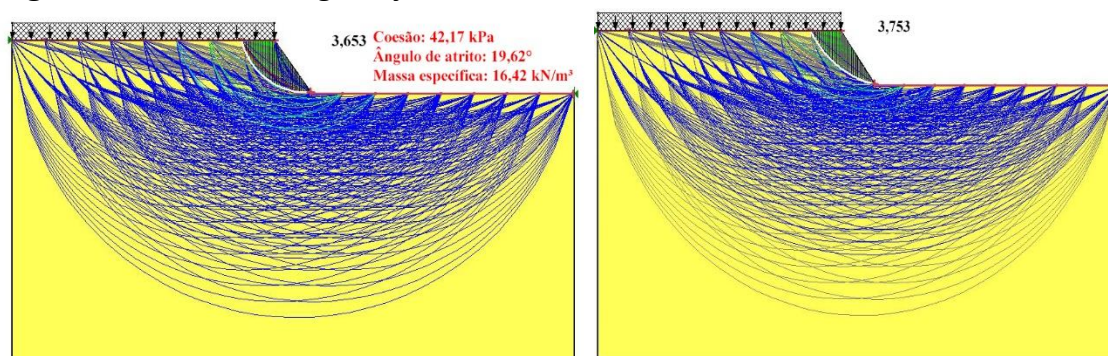
Fonte: Autoras, 2018.

O Talude 02 apresentou um fator de segurança crítico de 0,601 obtido pelo método de Fellenius e seu maior fator de segurança resultou num valor de 0,662 obtido pelo método de Spencer e Morgenster-Price, conforme a Figura 38 acima.

4.4.3 Talude 03

No Talude 03 foram feitos seis cortes a cada dez metros, utilizando a mesma análise feita no talude 01, onde para se obter o menor FS, utilizamos a seção que possui maior ângulo de inclinação. Para o Talude 03, a seção que apresentou maior ângulo de inclinação foi a seção 4, com um ângulo de 54,62. As propriedades do solo encontradas pelo ensaio triaxial, foram para o Talude 03, uma coesão de 42,17 KPa e ângulo de atrito 19,65°. Na Figura 36, é possível observar os fatores de segurança do Talude 03, sendo eles o maior e o menor entre todos os métodos.

Figura 36: Fatores de segurança do Talude 03.



Fonte: Autoras, 2018.

O Talude 03 apresentou um fator de segurança crítico de 3,653 obtido pelo método de Fellenius e seu maior fator de segurança resultou num valor de 3,753 obtido pelo método de Spencer e Morgenster-Price, conforme a Figura 39 acima.

4.4.4 Comparação dos fatores de segurança entre os taludes

Como para cada talude foram feitas várias verificações de estabilidade, foram analisados todos os fatores de segurança (FS) pegando então o menor deles, pois seria o mais crítico. Para cada análise de FS foi utilizado os métodos de Bishop, Morgenstern-Price, Spencer e Fellenius, para que possa ser comparado todos os fatores possíveis e mais precisos para cada método.

Na Tabelas 12, a seguir, é possível verificar todos os resultados de FS para a análise de estabilidade dos taludes analisados.

Tabela 07: Resultados de FS para os Taludes 01,02 e 03.

	Talude 01	Talude 02	Talude 03
MÉTODO	FS	FS	FS
Bishop	2,844	0,601	3,660
Morgenstern-Price	3,009	0,662	3,701
Spencer	3.009	0.662	3.753
Fellenius	2,826	0,601	3,653

Fonte: Autoras, 2018.

Com base na tabela, é possível observar que os valores de FS estão altos nos Taludes 01 e 03, isso porque os valores de intercepto de coesão são altos. Em média 32,85 KPa e enquanto o do Talude 02 é 1,96 Kpa, observando então que os valores de coesão e atrito estão diretamente relacionados com o FS, e consequentemente umas das principais causas de ruptura de taludes.

Verificou-se também quais os métodos mais críticos para cada tipo de situação, convergindo em cada seção do Talude. Para o Talude 01 o método de Fellenius apresentou o menor valor de FS, e consequentemente o mais crítico. No Talude 02, o método de Fellenius apresentou o menor valor de FS, sendo então, o método que expõe o valor de FS mais crítico e no Talude 03, o método de Bishop foi o que apresentou o menor valor de FS crítico para a seção. Em contrapartida o método de Spencer apresentou os maiores valores de FS na maioria dos casos.

Com base na NBR11682 (ABNT, 2009), classificamos cada talude, sendo todos identificados como grau baixo em relação a perdas de vidas humanas, e também, baixo em relação a danos materiais e ambientais, resultando em um FS mínimo exigido por norma de 1,2. A análise realizada neste estudo é feita sob a possibilidade de ruptura dos taludes e por esse motivo é necessário averiguar todas as possibilidades de estabilidade, pois todos os taludes estudados apresentam uma camada vegetal, contribuindo então no aumento dos valores de FS, onde não são considerados pelo programa. Desta maneira, com base na norma, o Talude 01 e Talude 03 apresentam um FS mais alto que o valor recomendado, não apresentando assim riscos de ruptura. Por sua vez, o Talude 02, exibe um FS abaixo da norma, no entanto com base no referencial teórico do item 2.6.1 já explicado, o FS crítico encontra-se menor que um, caracterizando-se como um talude instável, necessitando então de um método de estabilização.

Contudo, apesar do Talude 02 se apresentar instável e abaixo do valor permitido por norma, ele apresenta camada vegetal ao longo de seu comprimento. A estabilidade deste talude ocorre, pois, a vegetação além de diminuir a erosão do solo, ajuda na resistência da camada superficial através das raízes da vegetação.

4.4.5 Relação entre coesão e FS

Quanto a análise de instabilidade, Marangon (2009) afirma que, a coesão é definida como uma causa interna, já que quanto maior o intercepto coesivo, maior será a resistência de um solo, ou seja, mais segurança ele traz ao local, quanto ao estudo dos taludes, e quando isto acontece, no entanto, elas não alteram o aspecto geométrico visível do Talude.

Portanto, levando-se em conta o alto valor encontrado na realização dos ensaios para o intercepto de coesão, foram realizadas pesquisas comparativas entre os Fatores de Segurança dos taludes analisados, com os fatores encontrados por Zen e Almeida (2018) na realização de ensaios em 2016 no campo experimental da FAG, já que os mesmos possuem valores menores, mostrando assim, como o parâmetro de resistência coesão influencia no fator de segurança de um talude e sua importância em relação a ruptura do mesmo.

Em vista disso, optou-se em reduzir as coesões a valores mais baixos, conforme determinados por Zen e Almeida (2018), para analisar a influência da coesão na estabilidade dos taludes. Sendo assim, foi utilizado a coesão média analisada por ela num valor obtido de 8,042 kPa Na Tabela 13 a seguir, é possível observar a diferença do FS entre a análise feita neste trabalho de conclusão de curso, com o elaborado por Zen e Almeida (2018).

Tabela 08: Comparação de fatores de segurança críticos.

	Talude 01	Talude 02	Talude 03
FS (real)	2,826	0,601	3,653
FS (Zen)	1,233	1,001	1,121

Fonte: Autoras (2018).

É possível analisar como os fatores de segurança do Talude 01 e Talude 03 diminuíram ao usar uma coesão menor, aumentando assim seu risco de instabilidade, porém o Talude 01 ainda se encontra dentro do valor mínimo exigido por norma. No entanto, no Talude 02 observa-se que ao aumentar sua coesão, seu FS aumentou também, tornando então o talude estável, mas abaixo do valor exigido pela norma NBR11682 (ABNT, 2009), no valor de 1,2, assim como o Talude 03. Logo, a atenção de riscos que este talude pode oferecer à

população deve ser redobrada. No entanto, devido a presença de camada vegetal conforme descrito no referencial teórico 4.4, a ruptura do Talude 02 não aconteceu, pois, esta camada age como um método de estabilização.

4.5 ROMPIMENTO DO TALUDE 03

Os taludes em questão, foram observados entre o período de Junho até Novembro, portanto, durante a última visita ao local, observou-se que o talude 03, havia se rompido, além da grande quantidade de água proveniente do solo.

Isso se deve ao fato de que, nos últimos dias em Cascavel houve uma grande precipitação de chuvas e, com isso aconteceu uma grande saturação do solo e consequentemente ocasionou a ruptura do talude. Na Figura 37, é possível observar a ruptura do talude. Conclui-se então que a alta pluviosidade pode ocasionar a ruptura do talude analisado.

Figura 37: Talude rompido.



Fonte: Autoras, 2018.

Apesar de durante a análise dos fatores de segurança, os valores resultantes terem sido altos o que representa a estabilidade, o valor da coesão do solo em questão é bastante alto, comparado com o estudo realizado por Zen e Almeida (2018). Pode-se afirmar que o

deslizamento foi superficial, o que é perfeitamente normal, devida a sua alta declividade, sendo assim, é indispensável um método de estabilização para o talude, para que evitar que o solo sofra uma saturação durante precipitações pluviométricas intensas e consequentemente o rompimento do mesmo, onde isto pode ser feito por exemplo, através de uma camada vegetal sobre o solo.

5. CONCLUSÃO

Com base nas pesquisas bibliográficas realizadas, por questões de segurança e de natureza se torna urgente a análise profunda sobre as medidas que se pode tomar para amenizar os riscos relacionados à instabilidade de taludes. Portanto, é fundamental elaborar um dimensionamento dos cortes e aterros realizados nas propriedades, e ainda, produzir uma análise efetiva e correta onde há a ocupação de pessoas para que se possa alertá-los dos riscos que estão expostos, quando não for possível efetuar obras de contenções afim de evitar uma ruptura do talude.

Levando-se em conta isso, para a realização do estudo, o solo foi caracterizado baseado no artigo de Zen e Almeida (2018), sendo ele assim determinado como um uma argila siltosa arenosa, classificada como um solo compressível, colapsível e laterítico. Além disso, foi levado em conta valores de Peso Específico dos Sólidos de $26,67 \text{ kN/m}^3$.

Para obtenção desses resultados, foram realizados ensaios triaxiais com amostras indeformadas do solo para gerar parâmetros de resistência do solo e assim analisar sua estabilidade, além da secagem de pequenas amostras para determinar parâmetros de umidade, peso específico natural, porosidade e grau de saturação. Portanto, obteve-se um intercepto coesivo $23,53 \text{ kPa}$ e ângulo de atrito de $22,78^\circ$ para o Talude 01, já para o Talude 02 intercepto coesivo de $1,96 \text{ kPa}$ e ângulo de atrito de $24,93^\circ$ e para o Talude 03 intercepto coesivo de $42,17 \text{ kPa}$ e ângulo de atrito de $19,65^\circ$.

Nos taludes analisados foi possível verificar que a coesão influencia muito em sua estabilidade. O Talude 02 apresentava uma coesão muito menor em relação as outras e por este motivo seu FS é menor. Com um FS de $0,601$, resulta em um talude instável, necessitando então de muita atenção e algum método para a estabilização do mesmo. Já os Taludes 01 e 03, devido a sua alta coesão apresentam, altos valores de FS, sendo eles de $2,826$ e $3,653$, respectivamente. É possível notar também, que a altura de um talude influência nos valores dos fatores de segurança.

Conclui-se também que ao comparar as análises de FS de Zen, com o analisado neste estudo comprovamos que ao aumentar a coesão do Talude 02, obtivemos um FS crítico de $1,001$, resultando então em um talude estável, no entanto se encontra abaixo no mínimo exigido por norma ABNT NBR 11682 (2008) no valor de $1,2$, mesma situação que acontece com o Talude 03, com FS $1,121$, que apesar de se encontrar acima de $1,0$, está abaixo de $1,2$ exigido por norma, mostrando instabilidade do mesmo, portanto, o único talude que possui estabilidade seria o Talude 01, com FS de $1,233$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA., M.A.; ZEN, B.A.B. **Implantação e Caracterização Geotécnica do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel/Pr.** Artigo XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica , Salvador-BA, 2018.

CARVALHO, D. F. Hidrologia: Infiltração. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

DAS, B.M. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica.** Thamson Learning. 2007.

CRISPIM, F. A. **Estabilidade de taludes.** Unemat: Universidade do Mato Grosso do Sul, 2011.

DESCONHECIDO, Autor. **Movimento de Massa.** Cemaden.< Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>. > Acesso em 15 de jun.de 2018.

ECKS, J. **Aplicação da teoria do equilíbrio - limite na análise de estabilidades de taludes: estudo de caso.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Geologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2014.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes.** 2. ed. 1ª reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GOMES, R. “**Aula 01- Taludes e movimento de terra,2011**”. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2011.

LAMBE, T. W & WHITMAN, R. V., (1969). “**Soil Mechanis, SI version**”. John Wiley & Sins, Inc., Singapura, 553p.

MARANGON, M. **Resistência ao Cisalhamento dos Solos**, unidade 05. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009

MASSAD, F. **Obras de Terra.**Oficina de Textos São Paulo, 2010.

NETO, T. A. P. **Caracterização dos sedimentos e estudo sobre os movimentos de massas das encostas da região costeira do município do Conde/PB.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2016.

QUARESMA, A.R.; DÉCOURT, L.; QUARESMA FILHO, A.R.; ALMEIDA, M.S.S.; DANZIGER, F. Investigações geotécnicas. In: hachich, w.; falconi, f.f.; saes, j.l.; frota, r.g.q.; carvalho, c.s.; niyama, S. (Org.). Fundações: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: pini, 1998. bittencurt, d. m. a. **Estabilidade de taludes**. Goiás: Puc, 2016.

" **Resistência ao cisalhamento, 2010**"; *Universidade Estadual do Rio de Janeiro*. Disponível em <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/resistenciacisalhamento.pdf>>. Acesso em 17 de março de 2018.

RIBEIRO, Amarolina. "**Rochas metamórficas**"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/rochas-metamorficas.htm>>. Acesso em 10 de março de 2018.

SILVA, A. J. N. **Coesão e Resistência ao Cisalhamento relacionadas a atributos Físicos e Químicos de um Latossolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro**. 2006. Artigo - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte - RN, 2007.

SILVA, J. P. M. **Os Métodos de Equilíbrio Limite e dos Elementos Finitos na Análise de Estabilidade de Taludes**. 2011. Monografia (Especialização em Construção Geotécnica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2011.

TERZAGHI, K. e PECK, R. B. **Estabilidade de encostas e taludes em cortes a céu aberto**. In: *Mecânica dos solos na prática de engenharia*. Tradução de A.J. da Costa Nunes e M. de L.C. Campello. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1962.

ZANARDO, B. F. **Análise de estabilidade de taludes de escavação em Mina de Bauxita**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Alfenas - Campus de Poços de Caldas, Minas Gerais - MG, 2014.

ANEXOS

Tabela - Informações referente ao solo.

TALUDE	AMOSTRA	MASSA NATURAL (g)	MASSA SECA (g)	MASSA ÁGUA (g)	UMIDADE (%)
1	1	34,33	23,09	11,24	48,67
	2	23,54	17,77	5,77	32,47
	3	25,97	17,93	8,04	44,84
2	1	21,23	18,79	2,44	12,98
	2	29	20,18	8,82	43,70
	3	20,54	14,41	6,13	42,53
3	1	39,65	27,36	12,29	44,91
	2	28,25	25,24	3,01	11,92
	3	21,15	20,67	0,48	2,32

Fonte: Autores (2018)

Tabela- Índices físicos Talude 01.

	AMOSTRAS			
	1	2	3	VALOR MÉDIO
PESO ESPECÍFICO NATURAL (kN/m³)	16,10	15,96	16,51	16,19
PESO ESPECÍFICO DA ÁGUA (kN/m³)	10	10	10	10
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS (kN/m³)	26,69	26,69	26,69	26,69
PESO ESPECÍFICO SECO (kN/m³)	10,83	12,05	11,40	11,42
PESO ESPECÍFICO SATURADO (kN/m³)	16,77	17,53526	17,13186	17,14
UMIDADE (%)	48,67	32,47	44,84	41,99
INDÍCE DE VAZIOS	1,46	1,21	1,34	1,33
POROSIDADE (%)	59,41	54,85	57,26	57,17
GRAU DE SATURAÇÃO (%)	88,74	71,33	89,30	83,12

Fonte: Autores (2018)

Tabela- Índices físicos Talude 02.

AMOSTRA				
	1	2	3	VALOR MÉDIO
PESO ESPECÍFICO NATURAL (kN/m³)	16,61	16,95	16,96	16,84
PESO ESPECÍFICO DA ÁGUA (kN/m³)	10	10	10	10
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS (kN/m³)	26,69	26,69	26,69	26,69
PESO ESPECÍFICO SECO (kN/m³)	14,70	11,79	11,90	12,80
PESO ESPECÍFICO SATURADO (kN/m³)	19,19	17,37	17,44	18,00
UMIDADE (%)	12,98	43,70	42,53	33,07
INDÍCE DE VAZIOS	0,81	1,26	1,24	1,10
POROSIDADE (%)	44,91	55,80	55,40	52,04
GRAU DE SATURAÇÃO (%)	42,50	92,38	91,37	75,42

Fonte: Autores (2018)

Tabela - Índices Físicos Talude 03.

AMOSTRA				
	1	2	3	VALOR MÉDIO
PESO ESPECÍFICO NATURAL (kN/m³)	16,6	16,16	16,48	16,42
PESO ESPECÍFICO DA ÁGUA (kN/m³)	10	10	10	10
PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS (kN/m³)	26,69	26,69	26,69	26,69
PESO ESPECÍFICO SECO (kN/m³)	11,46	14,44	16,11	14,00
PESO ESPECÍFICO SATURADO (kN/m³)	17,17	19,03	20,07	18,75
UMIDADE (%)	44,91	11,92	2,32	19,72
INDÍCE DE VAZIOS	1,32	0,84	0,65	0,94
POROSIDADE (%)	57,03	45,88	39,62	47,51
GRAU DE SATURAÇÃO (%)	90,31	37,53	9,44	45,76

Fonte: Autores (2018)

Relatório Ensaio- Talude 01.



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

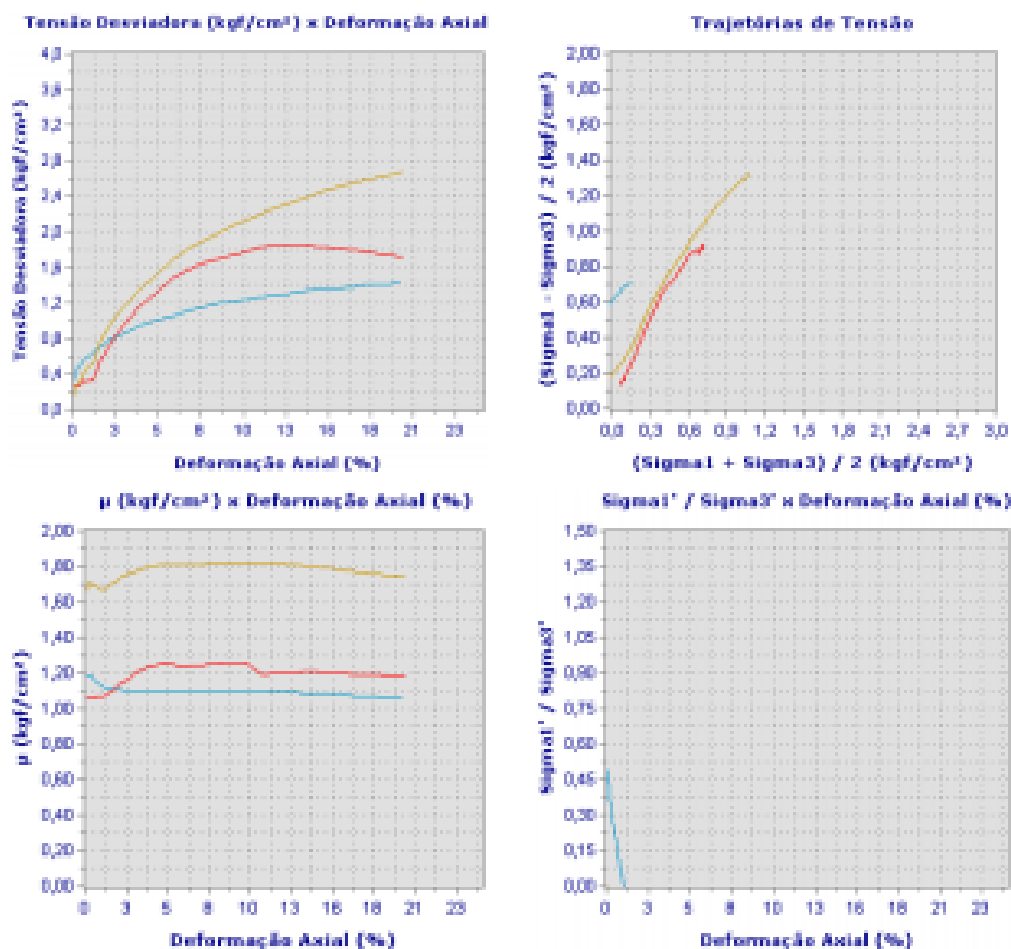
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: TALUDE 01
 Condição Moldagem: Talhagem
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 12/09/2018

Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	1,00	0,87	1,93	0,50	-0,56
2	1,00	1,00	1,65	2,65	1,00	-0,21
3	1,50	1,00	2,44	4,18	1,50	-0,24

Gráficos dos Resultados



Relatório Ensaio- Talude 01.



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

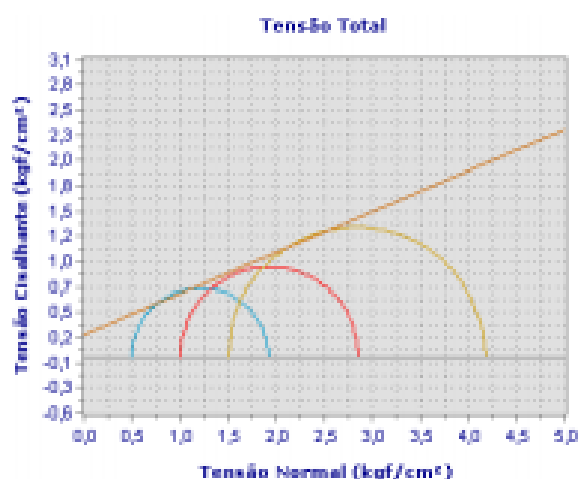
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: TALUDE 01
Condição Moldagem: Talhagem
Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
Data do Ensaio: 12/09/2018

Informações dos Corpos de Prova

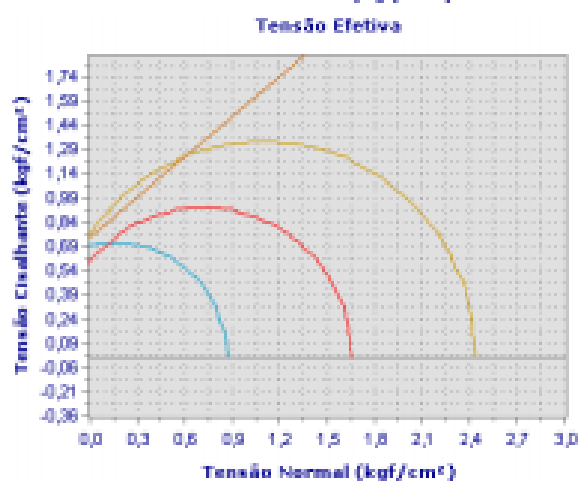
Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	1,00	0,87	1,93	0,50	-0,56
2	1,00	1,00	1,65	2,86	1,00	-0,21
3	1,50	1,00	2,44	4,18	1,50	-0,24

Gráficos dos Resultados



Tensão Total

Ângulo Atrito: 22,78°
Coesão: 0,24(kgf/cm²)



Tensão Efetiva

Ângulo Atrito: 39,72°
Coesão: 0,75(kgf/cm²)

Relatório Ensaio- Talude 02.



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

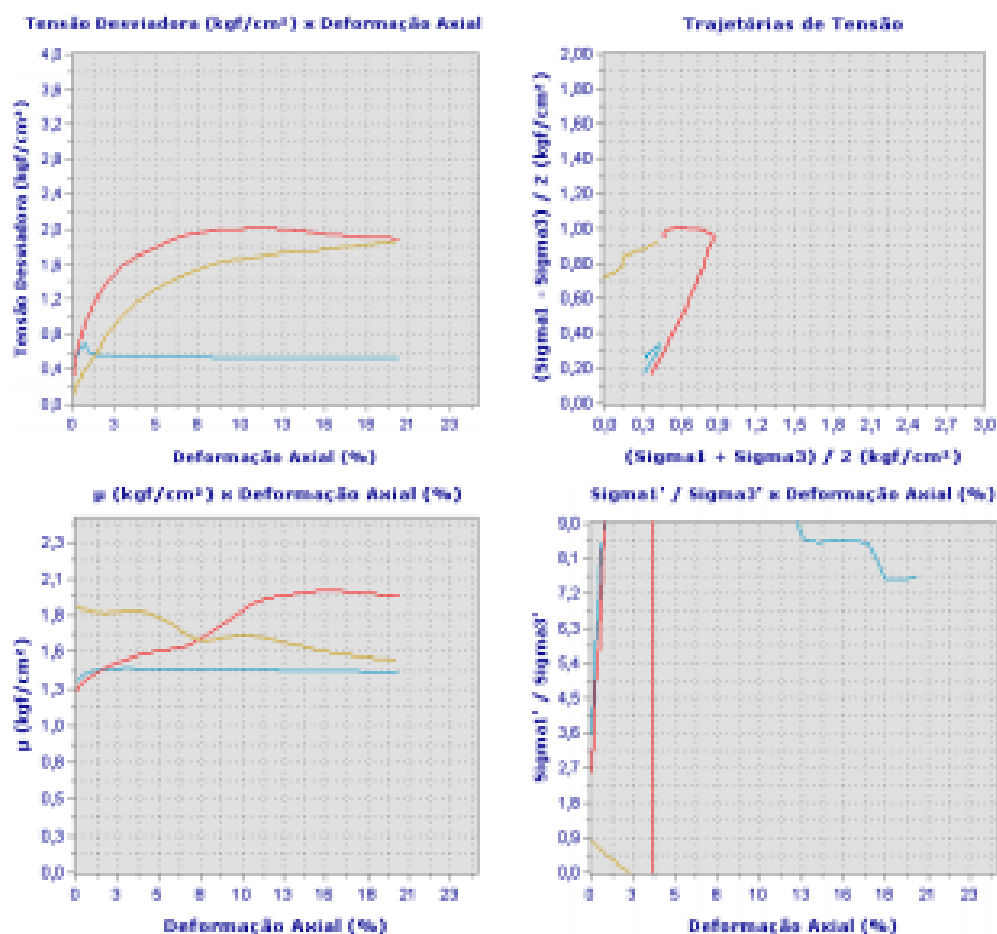
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: TALUDE 04
 Condição Moldagem: Talhagem
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 28/08/2018

Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
3	0,50	1,00	-0,22	1,19	0,50	-0,94
4	1,50	1,00	1,64	3,54	1,50	-0,40
5	1,00	1,00	1,38	2,88	1,00	-0,58

Gráficos dos Resultados



Relatório Ensaio- Talude 02.



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

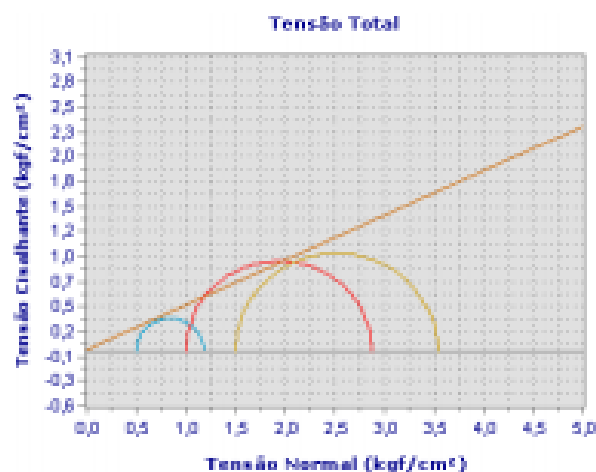
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: TALUDE 04
 Condição Moldagem: Talhagem
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 28/08/2018

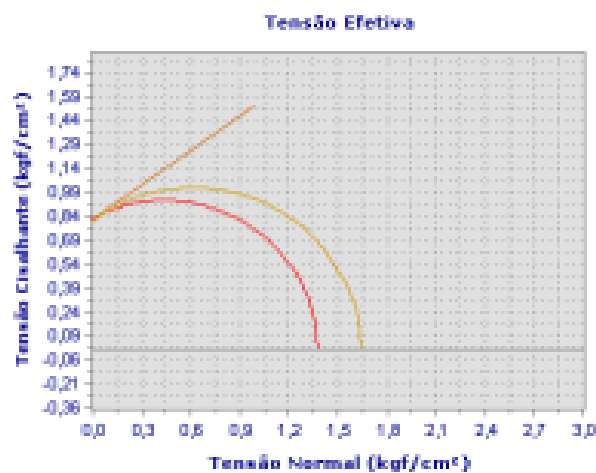
Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
3	0,50	1,00	-0,22	1,19	0,50	-0,91
4	1,50	1,00	1,64	3,54	1,50	-0,40
5	1,00	1,00	1,38	2,88	1,00	-0,50

Gráficos dos Resultados

**Tensão Total**

Ângulo Atrito: 34,93°

Coesão: 0,82(kgf/cm²)**Tensão Efetiva**

Ângulo Atrito: 35,27°

Coesão: 0,82(kgf/cm²)

Relatório Ensaio- Talude 03.



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

Dados Cadastrais da Amostra

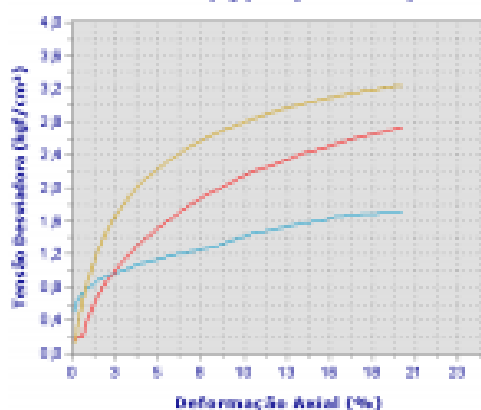
Nome da Amostra: TALUDE 03
 Condição Moldagem: Talhagem
 Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
 Data do Ensaio: 06/09/2018

Informações dos Corpos de Prova

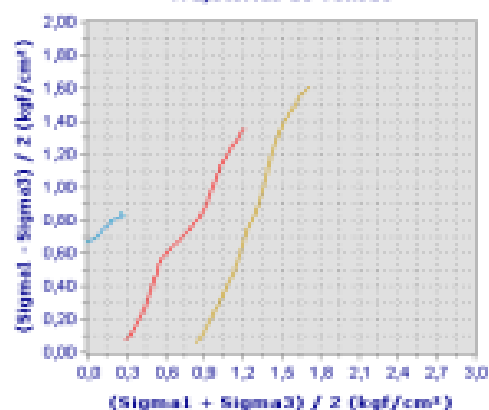
Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	1,00	1,11	2,21	0,50	-0,60
3	1,50	1,00	2,59	4,24	1,50	-0,15
5	2,00	1,00	3,35	5,23	2,00	0,12

Gráficos dos Resultados

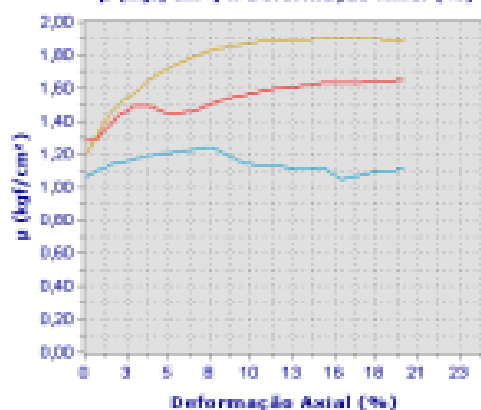
Tensão Desviadora (kgf/cm²) x Deformação Axial



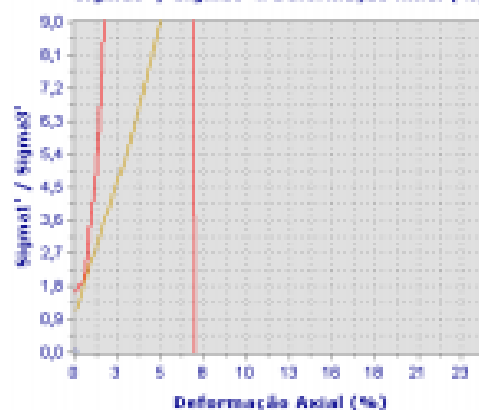
Trajetórias de Tensão



μ (kgf/cm²) x Deformação Axial (%)



σ_1' / σ_3' x Deformação Axial (%)



Relatório Ensaio- Talude 03.



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

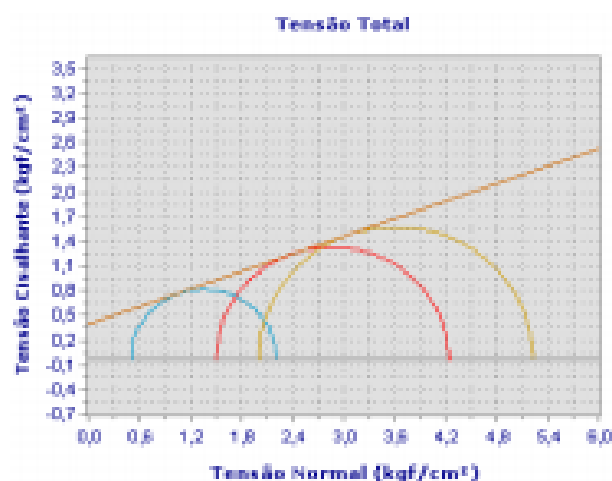
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra:	TALUDE 03
Condição Moldagem:	Talhagem
Tipo Ensaio:	Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
Data do Ensaio:	04/09/2018

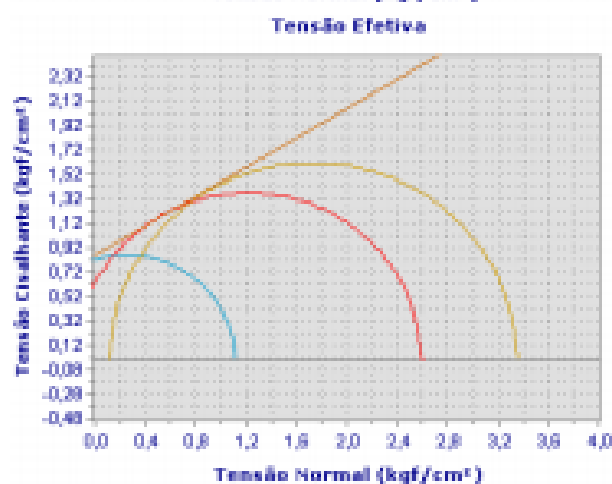
Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	1,00	1,11	2,21	0,50	-0,60
3	1,50	1,00	2,59	4,24	1,50	-0,15
5	2,00	1,00	3,35	5,23	2,00	0,12

Gráficos dos Resultados

Tensão Total

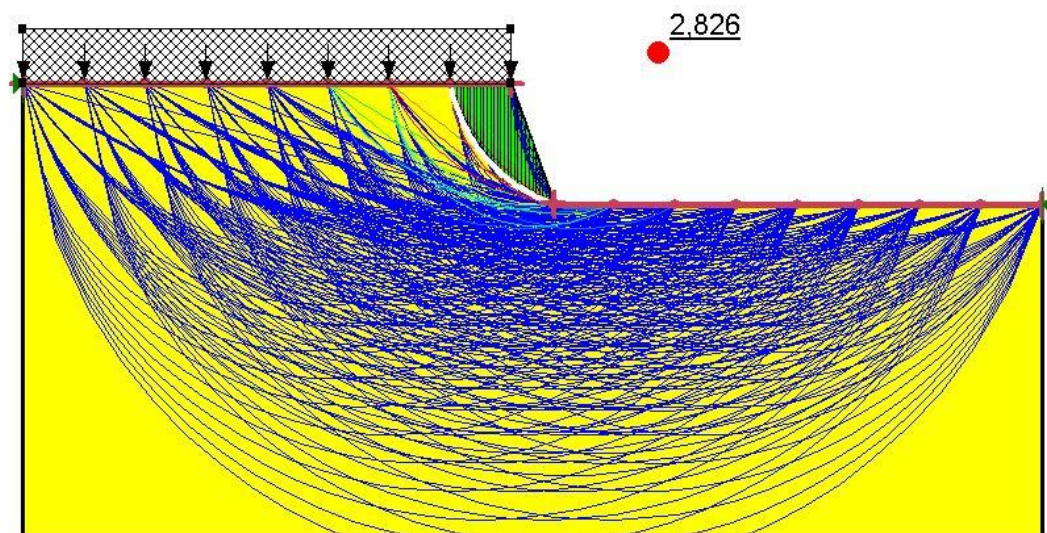
Ângulo Atrito: 19,65°

Coesão: 0,43(kgf/cm²)Tensão Efetiva

Ângulo Atrito: 31,03°

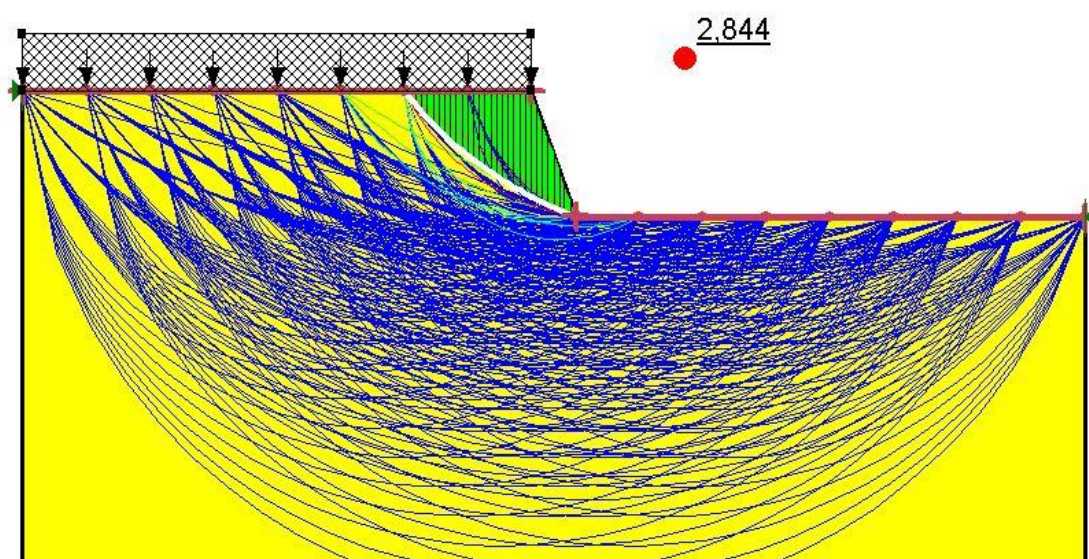
Coesão: 0,85(kgf/cm²)

Modelagem do Talude 01 –Método de análise de Fellenius, no software Slope/W.



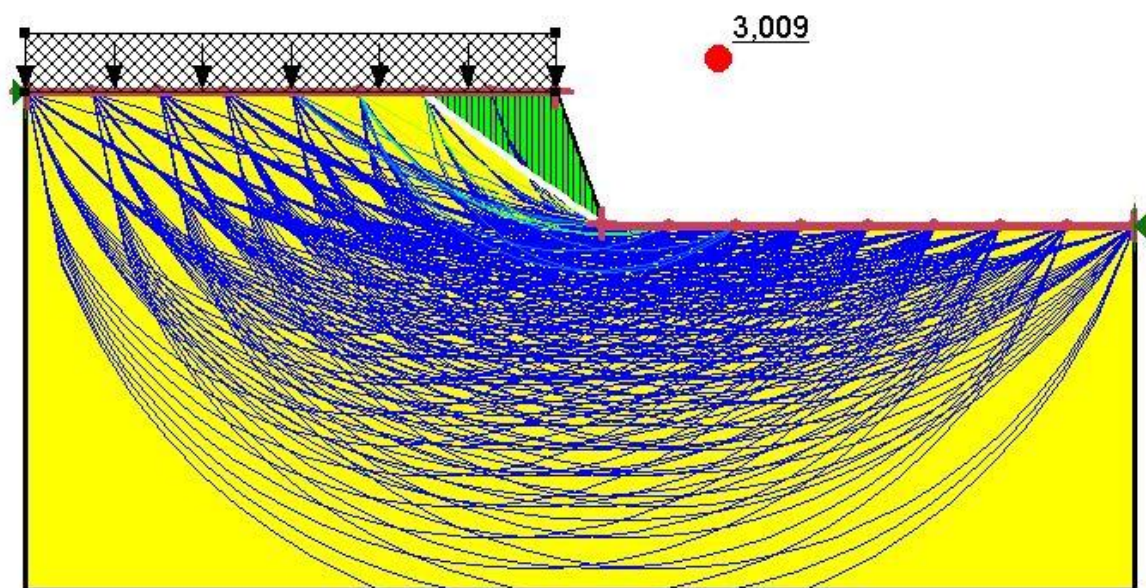
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 01 –Método de análise de Bishop, no software Slope/W.



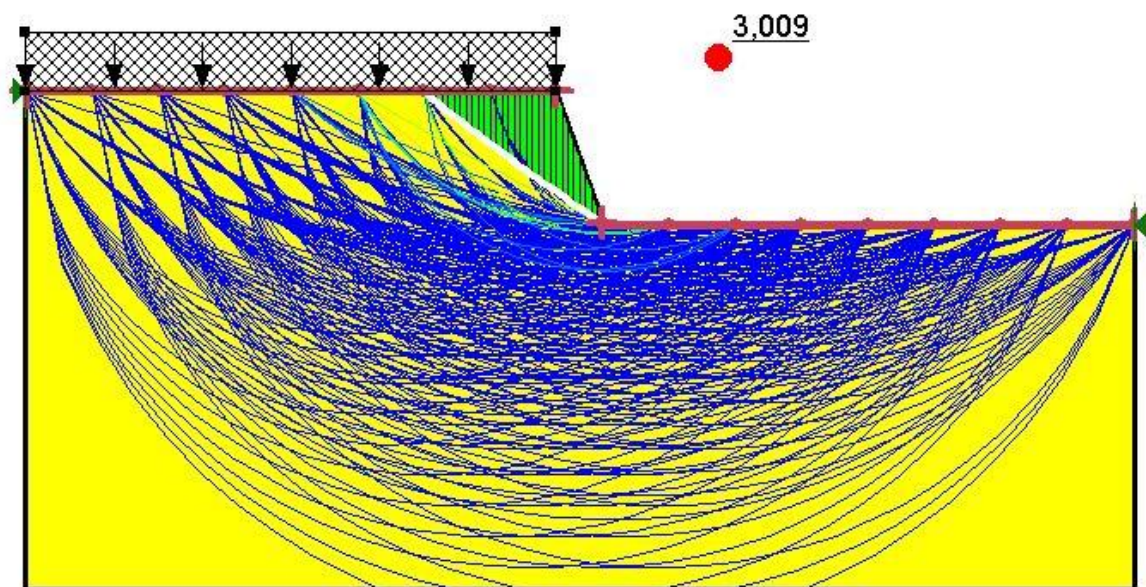
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 01 –Método de análise de Morgenster-Price, no software Slope/W.



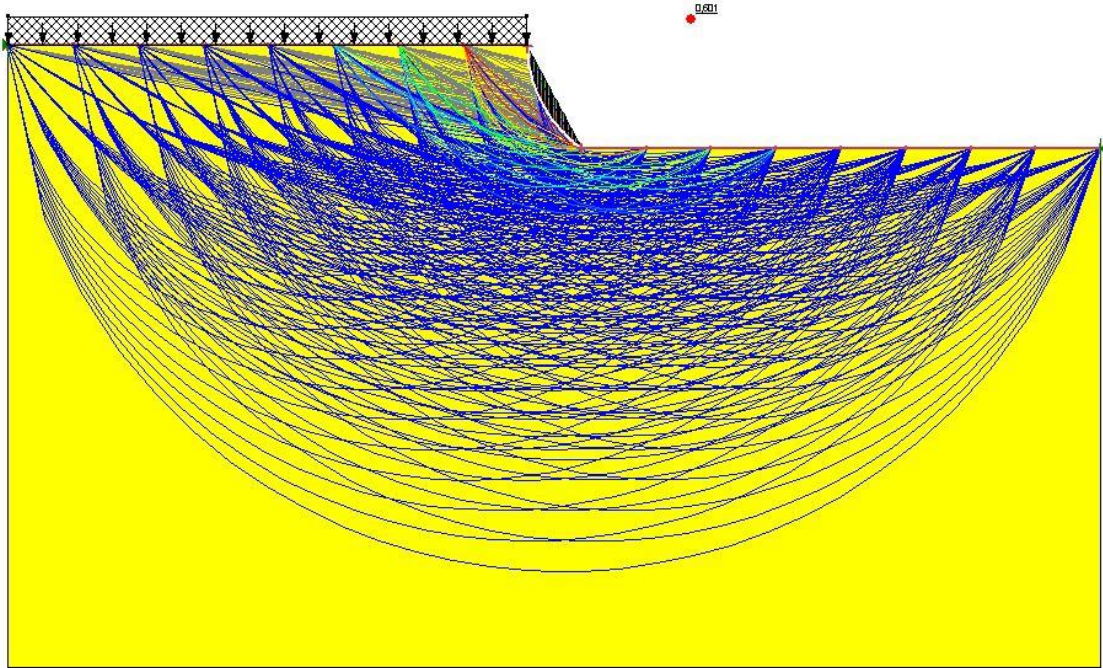
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 01 –Método de análise de Spencer, no software Slope/W.



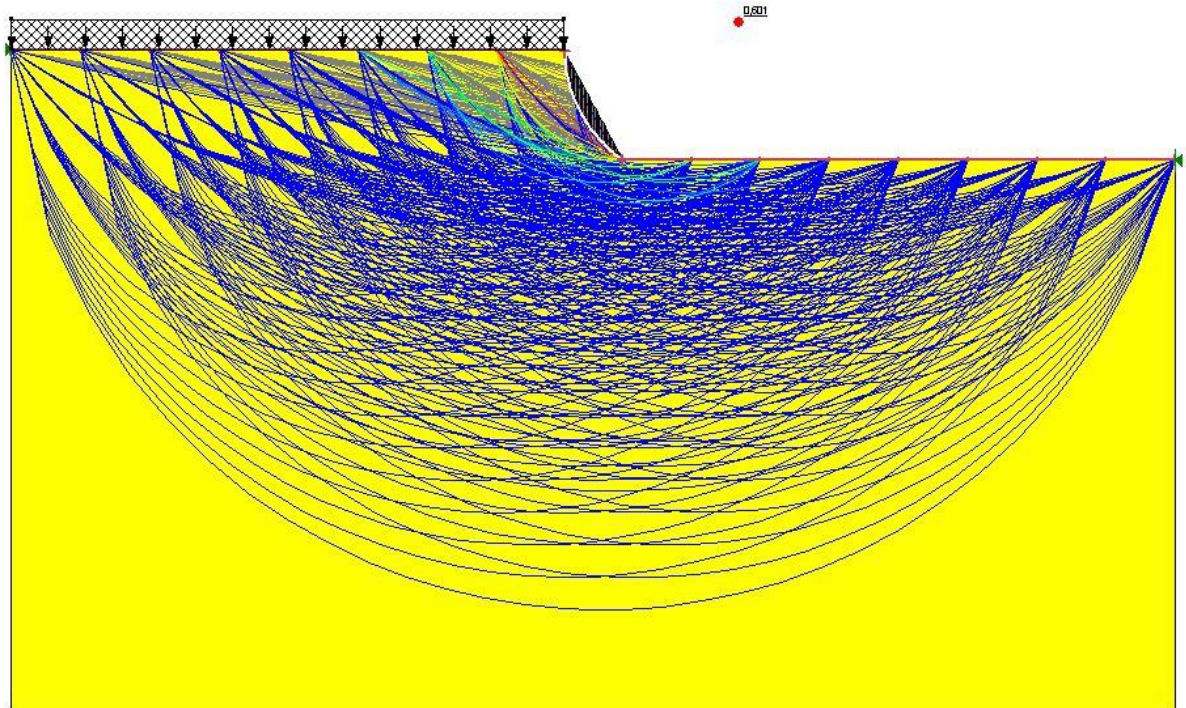
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 02 –Método de análise de Fellenius, no software Slope/W.



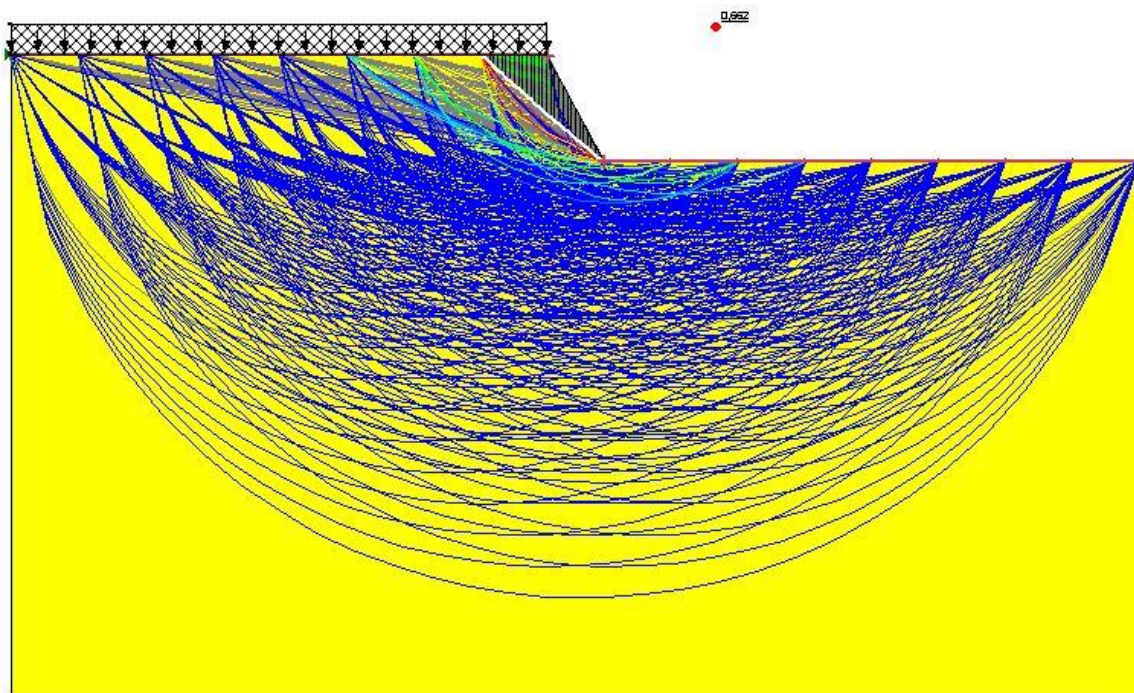
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 02 –Método de análise de Bishop, no software Slope/W.



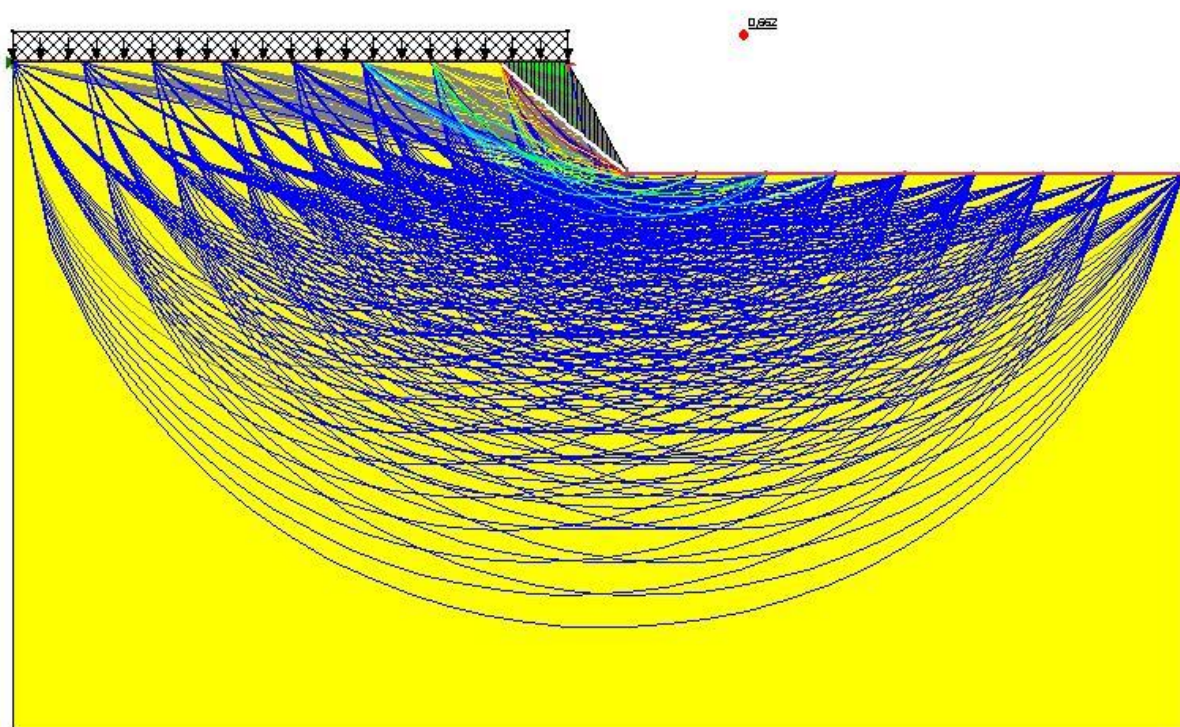
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 02 –Método de análise de Morgenster-Price, no software Slope/W.



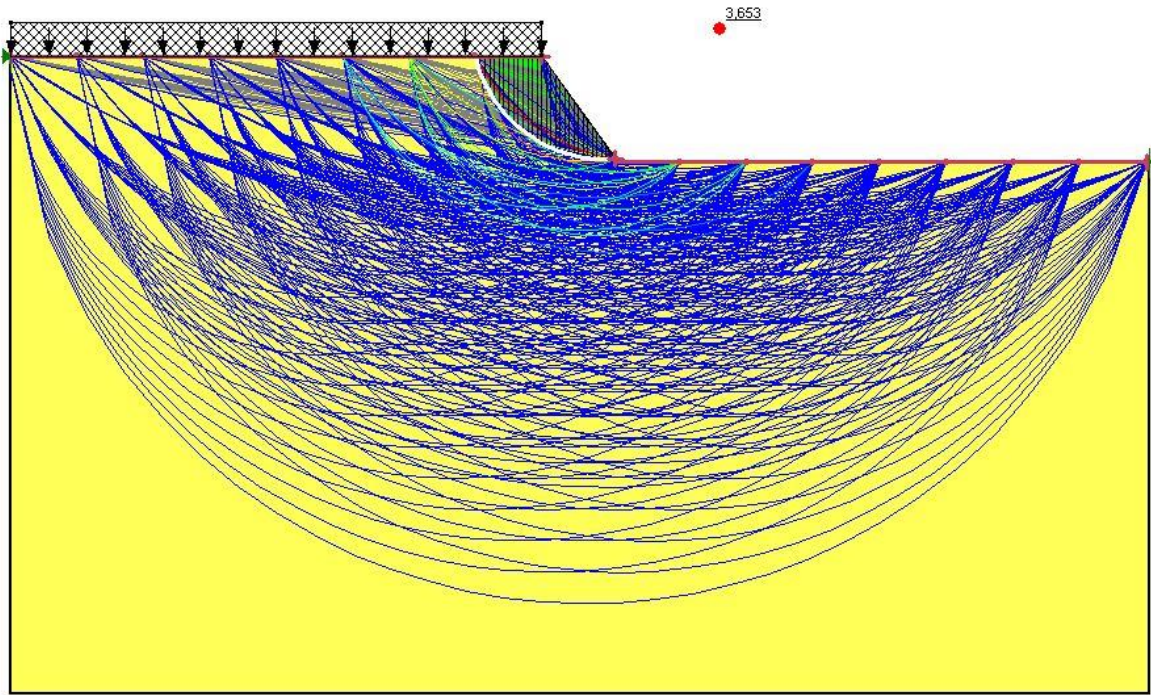
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 02 –Método de análise de Spencer, no software Slope/W.



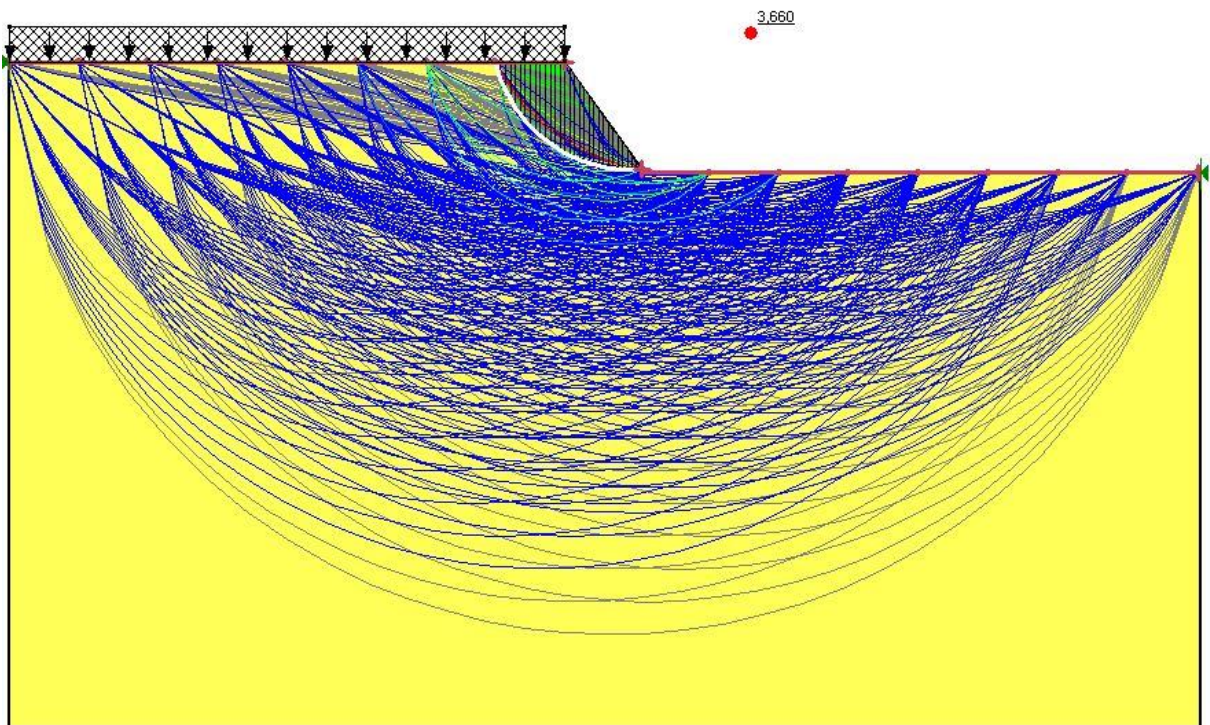
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 03 –Método de análise de Fellenius, no software Slope/W.



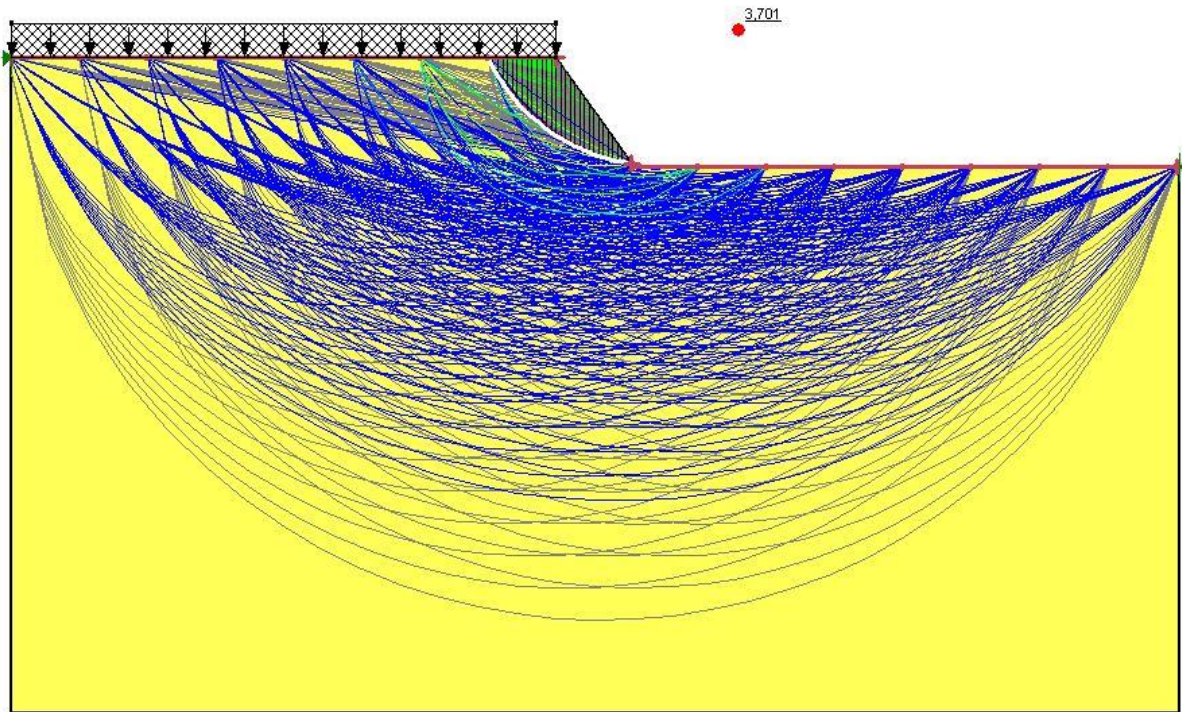
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 03 –Método de análise de Bishop, no software Slope/W.



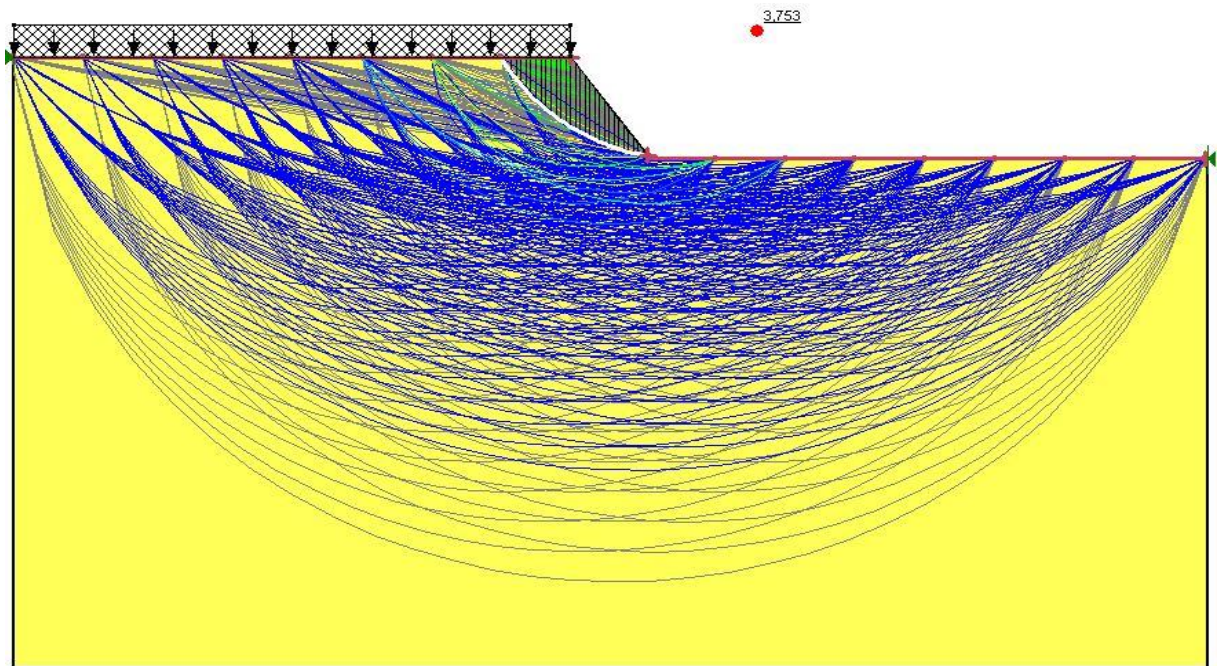
Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 03 –Método de análise de Morgenster-Price, no software Slope/W.



Fonte: Autoras (2018)

Modelagem do Talude 03 –Método de análise de Spencer, no software Slope/W.



Fonte: Autoras (2018)'''