

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE ENCOSTA PARA CONSTRUÇÃO DE BLOCOS DE ANCORAGEM DE UM CONDUTO FORÇADO PARA UMA PCH

BETTEGA, Isaac da Silva¹

FREITAS, Carolina²

RESUMO

Os estudos geológicos estão diretamente relacionados com as construções devido a necessidade de adaptar as estruturas em cada local que elas são desenvolvidas a fim de estabelecer um equilíbrio entre a construção e o meio em que se encontra, visando a estabilidade e durabilidade prevista em sua concepção. A geotecnia busca unir os conhecimentos geológicos às teorias de estruturas para sintetizar as escolhas ideais na construção civil, para isso é necessário levantar dados de campo como sondagens e outros métodos investigativos para que se tenha as informações necessárias. As análises de estabilidade estão relacionadas às condições em que uma encosta se encontra para receber uma estrutura e também garantir a segurança contra possíveis movimentos de massa que possam ocorrer. O presente trabalho teve como base a construção de um conduto forçado em uma encosta para uma PCH, analisando a estabilidade natural e a estabilidade após construído blocos de ancoragem com fundações profundas.

Palavras Chave: *Estabilidade, Encosta, Solo, Análise, Geologia.*

ABSTRACT

Geological studies are directly related to the constructions due to the need to adapt the structures in each place they are developed in order to establish a balance between the construction and the environment in which it is found, aiming at the stability and durability foreseen in its design. Geotechnics seeks to unite geological knowledge to structural theories to synthesize the ideal choices in civil construction, for this it is necessary to collect field data such as surveys and other investigative methods so that the necessary information can be obtained. The stability analyzes are related to the conditions in which a slope is to receive a structure and also to guarantee security against possible mass movements that may occur. The present work was based on the construction of a penstock on a slope for a PCH, analyzing the natural stability and stability after building anchor blocks with deep foundations.

Key words: *Stability, Hillside, Soil, Analysis, Geology.*

1 Acadêmico do 10º período de Engenharia Civil - Centro U. Campo Real, eng-isaacbettega@camporeal.edu.br

2 Professora do curso de Engenharia Civil - Centro U. Campo Real, prof_carolinafreitas@camporeal.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Analisar toda e qualquer superfície natural que receberá uma construção é um processo intrínseco à engenharia civil, pois esta irá suportar a estrutura por toda a sua vida útil estimada, assim surgem os estudos específicos para esta área. Como descrito por Oliveira e Antônio (2017) a aplicação da geologia na área da engenharia civil está associada aos estudos geológicos-geotécnicos que constituem uma análise do meio físico visando identificar as características do meio mais relevante para a construção de obras civis. Um dos principais motivos para os estudos geotécnicos é garantir a segurança antes, durante e após a execução de uma obra.

O objetivo da análise de estabilidade é avaliar a possibilidade de ocorrência de movimento de massa presente em talude natural ou construído. Em geral, as análises são realizadas pela comparação das tensões cisalhantes mobilizadas com a resistência ao cisalhamento. Com isso, define-se um fator de segurança (Gerscovich, 2016). O cálculo desse coeficiente pode ser feito de maneiras diversas, mas neste caso será feito com o auxílio de software que a partir das propriedades dos materiais da encosta determina o seu coeficiente de segurança. A estabilidade não envolve somente uma questão de engenharia construtiva mas também a segurança deste local, A norma NBR 11682 (2008) estabelece que, dependendo dos riscos envolvidos, deve-se inicialmente enquadrar o projeto em uma das classificações de nível de segurança, definidas a partir dos riscos de perdas humanas e perdas materiais. A qualificação de risco deve considerar não somente as condições atuais do talude, como também o uso futuro da área, preservando-se o talude contra cortes na base, desmatamento, sobrecargas e infiltração excessiva.

O estudo parte de uma pesquisa de campo a fim de identificar a formação geológica da encosta para que se possa definir as propriedades do solo encontrado, essas propriedades serão utilizadas como base para definir o projeto de fundação ideal para o trecho em questão. Hachich et al. (1998) ainda relata que o conhecimento das propriedades dos solos não se restringe ao que a Mecânica pode esclarecer. A Química e a Física Coloidal, importantes para justificar aspectos do comportamento dos solos, são partes integrantes da Mecânica dos Solos, enquanto que o conhecimento da Geologia é fundamental para o tratamento correto dos problemas de fundações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ANÁLISE DO SOLO

Analisar as propriedades mecânicas do solo faz parte da caracterização da encosta, para Folle (2002) o conhecimento do comportamento e condições do solo em subsuperfície

é imprescindível para fim de projetos seguros e econômicos em obras civis, assim procura-se sempre de alguma maneira investigar e analisar a região à ser construída. O método investigativo mais comum é a sondagem que é uma maneira de visualizar o solo retirando uma amostra através de uma perfuração, retirando o material interno e posicionando de forma que seja possível identificar a profundidade que se encontra cada amostra. É necessário proceder-se à identificação e à classificação das diversas camadas componentes do substrato a ser analisado, assim como a avaliação das suas propriedades de engenharia (HACHICH, W. et al. 1998). A partir disso é possível catalogar o material e definir suas características geológicas para identificar a sua resistência e outros fatores que podem implicar na estabilidade da encosta.

Após uma sondagem ser realizada é possível caracterizar as amostras de acordo com suas características físico-químicas, que irão determinar quais são as possibilidades de executar uma estrutura neste solo, essas características são denominadas como: fraturamento, rugosidade das discontinuidades, paredes e preenchimento das discontinuidades, inclinação das discontinuidades, coerência, alteração e R.Q.D (Rock Quality Designation). Reckziegel (2012) ressalta que:

O estudo das características geológico-geotécnicas, como tipo de rocha e solo, presença de discontinuidades, falhas, fraturas, juntas e foliações, forma de alteração das rochas, são importantes no estudo dos processos geradores de áreas de perigo, tendo em vista que esses fatores têm implicação direta na potencialidade e predisposição à processos de dinâmica superficial, como os movimentos de massa (Reckziegel 2012, p. 29).

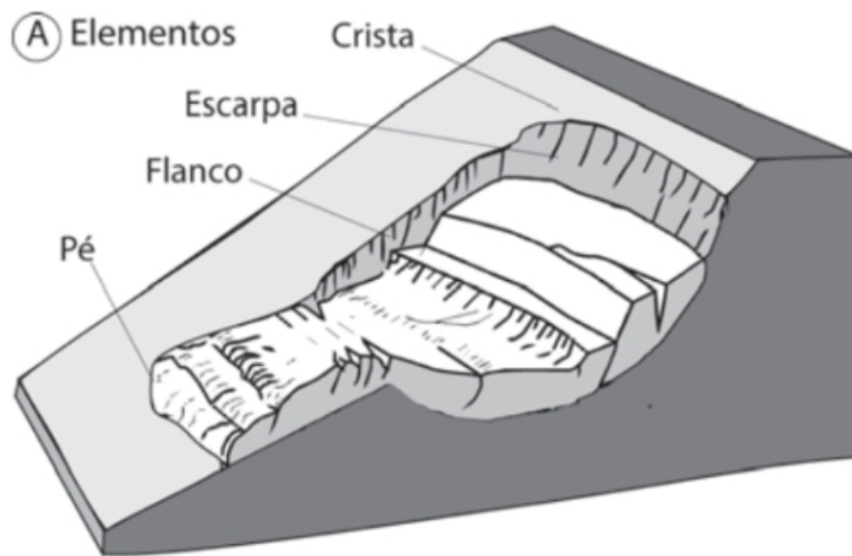
2.2. MOVIMENTOS DE MASSA

As encostas naturais e os taludes construídos estão sempre propensos a movimentos que podem desestabilizar a sua estrutura. De acordo com Reckziegel (2012) Os processos de dinâmica superficial, como os movimentos de massa, são eventos naturais e fazem parte da dinâmica do planeta e, como manifestações próprias da natureza, ocorrem independentemente da presença do homem. Há vários motivos para desencadear uma ação como essa, Guerra (2003) destaca que nos movimentos de massa ocorre um movimento coletivo de solo ou rocha onde a gravidade e a declividade possuem um papel significativo. A água pode tornar o processo ainda mais catastrófico, mas não necessariamente o principal agente deste processo geomorfológico.

Existem várias classificações dos tipos de movimentos, Gerscovich (2016) descreve que as mais utilizadas são: “Varnes, 1958, 1978; Hutchinson, 1968; Guidicini;

Nieble, 1983, sendo a de Varnes(1978) a mais utilizada internacionalmente”. A proposta subdivide os movimentos em: queda, tombamento, escorregamento, expansão lateral, escoamento e complexo, e é aplicável para solos e rochas que apresentam as recomendações de classificação quanto à velocidade e profundidade da massa deslocada. Em suma, qualquer deslocamento de um volume de solo é considerado um movimento de massa. Na Figura 1 temos a composição de um escorregamento que é um tipo de movimento mais comum visto na natureza.

Figura 1: Elementos que compõe um escorregamento



Fonte: Gerscovich (2016)

As análises de estabilidade se fazem necessárias justamente para prever e evitar os mais diversos tipos de movimentos que possam causar danos materiais e ameaçar a segurança de pessoas nas proximidades das estruturas, o que torna um princípio básico para qualquer obra que possa ser construída em área de encosta, como citado por Silva E. (2006) apesar de já bastante explorado, a análise de estabilidade de taludes continua sendo um tópico de grande interesse por envolver normalmente riscos de perdas materiais e humanas.

Entender sobre o movimento de massas também é fundamental para que se possa entender os riscos de uma construção em uma área de encosta, e construir uma estrutura capaz de suportar ações futuras do tempo. Encostas estão sempre propensas há ações erosivas, e segundo Burton e Bathurst (1998), *apud* Michel (2013) os escorregamentos são um dos principais processos erosivos em encostas e, portanto, tem um importante papel na produção de sedimentos na bacia. Os impactos de escorregamentos e a alta produção de

sedimentos podem ser significativos, implicando, por exemplo, em alta taxa de sedimentação em reservatórios e assoreamento do leito dos rios (Bathurst et al., 2005).

Quando construído uma estrutura em uma encosta é necessário analisar a tensão aplicada na superfície do talude para verificar se este é capaz de resistir ao peso, e também se a estrutura é capaz de ficar apoiada no solo da encosta. Gerscovich (2016) indica que o solo é um sistema trifásico constituído por sólidos, água e ar. Parte dos esforços é transmitida pelos grãos e, conforme as condições de saturação, parte é transmitida pela água. No caso de solos secos, todos os esforços são transmitidos pelo arcabouço sólido. Assim se faz necessário analisar a tensão em que o solo é capaz de suportar, e a tensão em que a estrutura implicará no talude, sendo que para manter a estabilidade a tensão resistente do talude deve ser maior.

2.3. TALUDES

Taludes são quaisquer superfícies inclinadas formadas por solo ou rocha, com formação natural ou artificial (GERSCOVICH, 2016). As formações naturais podem ser de diversos materiais variando conforme a geologia do local, já os artificiais são feitos com materiais escolhidos com características para atender o seu objetivo. Taludes possuem diferentes funções para sua utilização, mas o que caracteriza seu uso é o formato poligonal de sua estrutura, que se torna fisicamente apropriado para contenções, assim é comum utilizar taludes em barragens de terra, acessos elevados e quaisquer tipos de contenções que se encaixe em sua função.

Evidentemente que somente seu formato não garante total resistência à esforços sobresselentes do que projetado a sua estrutura, um talude deve ser analisado seu formato e composição para que a sua resistência seja maior que a resistência cisalhante natural, e com material adequado à necessidade também, neste quesito é que os taludes naturais se tornam mais complexos, visto que há sempre uma variabilidade de material geológico nas encostas que podem desfavorecer a estrutura projetada para aquele local.

Costa (2005) relata que na engenharia civil, a avaliação da estabilidade de diversas estruturas de diferentes naturezas é feita com o uso de conceitos determinísticos. Estes conceitos são baseados em fatores de segurança julgados adequados à natureza da obra, onde o fator de segurança unitário indica uma ruptura iminente.

2.3.1. Taludes Naturais

Os taludes naturais ou encostas como são chamados, são formados por decomposição natural, ou seja, seu perfil geológico pode ter alta variabilidade de acordo

com seu local. Gerscovich (2016) descreve que os taludes naturais podem ser constituídos por solo natural e/ou coluvionar, além de rocha, onde os solos residuais permanecem no local em que foram gerados, e os coluvionares são formados como resultado do transporte, tendo como agente principal a ação da gravidade.

Entender a geologia local é fundamental para determinar os parâmetros de resistência de um solo, a identificação do tipo de material que a encosta possui é necessário para que se possa entender o quanto o talude é capaz de suportar uma carga, levando em consideração que todo talude possui uma projeção com tendência de deslizamento. Taludes naturais em solos residuais são geralmente estáveis, a menos que perturbações internas causadas por fenômenos naturais incomuns ou interferência humana ocorram (SILVA E. 2006)

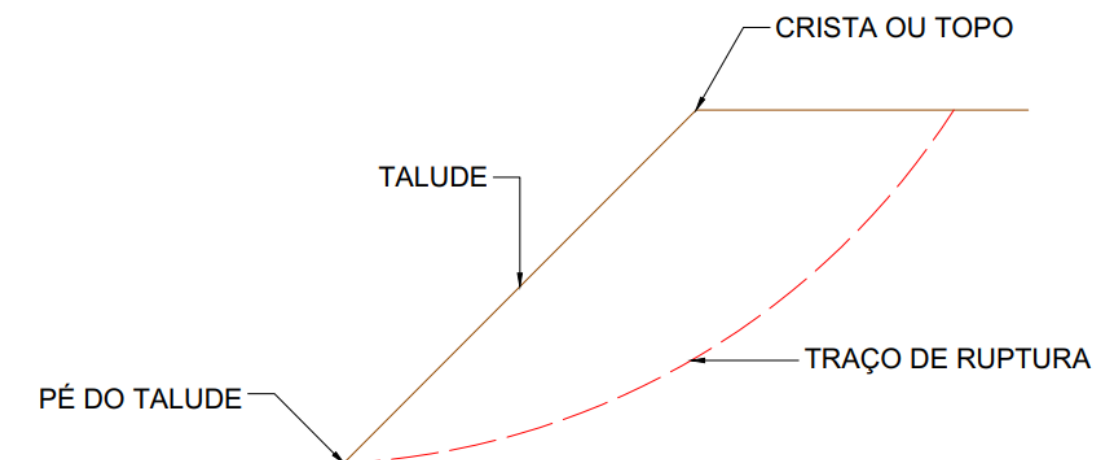
Com a identificação do material geológico que a encosta é composta é possível realizar levantamentos de suas características e capacidades, tendo a possibilidade de realizar tratamentos a fim de prevenir possíveis deslizamentos ou fissuras que causem dano nas estruturas adjacentes. De modo geral qualquer talude necessita de uma análise a fim de identificar qual é a melhor decisão a ser tomada em cada caso, pois há casos em que é mais viável retirar o material natural e recompor a encosta com material confiável nos parâmetros de segurança necessários.

2.3.2. Taludes Construídos

Segundo a NBR 11682 (2009), se enquadra como um talude construído qualquer talude formado, ou modificado pela ação direta do homem. Para construir um talude é preciso conhecer as propriedades dos materiais que vão ser utilizados buscando garantir um fator de segurança controlado e determinado por um projeto, como citado por Gerscovich (2016) como as propriedades geotécnicas do solo compactado utilizado nesse tipo de obra são conhecidas, os cálculos de estabilidade envolvem menos incertezas se comparados aos dos solos naturais. Um talude construído é uma solução que serve para diversos tipos de situação envolvendo contenções.

Pela norma, um talude artificial deve ser composto por uma geometria padrão obedecendo a sua composição para que a mecânica seja funcional. Essa composição é da seguinte maneira:

Figura 02: Esquema de um Talude



Fonte: Autoria própria (2021)

Os taludes construídos também podem apresentar instabilidade em sua estrutura, essa pode ser por inúmeros motivos, mas de qualquer forma, mesmo construído de maneira regular, o talude precisa ser monitorado visualmente e regularmente. Qualquer estrutura construída está sujeita a ações do tempo e eventos naturais, os taludes em específico estão propensos a deslizamento em seu sentido de inclinação demarcado pelo traço de ruptura. Costa (2005) afirma que nas análises de estabilidade de taludes as incertezas também são muito importantes, pois o solo, ao contrário de outros materiais de construção, possui um processo de formação natural que torna suas propriedades altamente dependentes dos processos geológicos atuantes em sua gênese.

2.4. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

O objetivo da análise de estabilidade é avaliar a possibilidade de ocorrência de escorregamento de massa de solo presente em talude natural ou construído (GERSCOVICH, 2016). Analisar a estabilidade se faz necessário por dois motivos principais: segurança contra perda de vidas humanas e segurança contra danos materiais e ambientais, para isso a NBR 11682 classifica critérios de segurança para ser considerado e levado em consideração em cada caso de análise. Nos quadros 01 e 02 é possível ver a classificação de segurança de acordo com seu critério.

Quadro 01: Nível de segurança desejado contra perda de vidas humanas

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais 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 Rodovias de tráfego reduzido

Fonte: Adaptado de NBR 11682 (ABNT, 2009)

Quadro 02: Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos Ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais grandes, tais como proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábrica de produtos tóxicos
Médio	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos Ambientais: Locais sujeitos a danos ambientais moderados
Baixo	Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos Ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: Adaptado de NBR 11682 (ABNT, 2009)

Mesmo considerando parâmetros de diferentes níveis para a segurança da estabilidade, incertezas ainda fazem parte das análises, como citado por Costa (2005) na engenharia geotécnica, a incerteza está embutida em todas as fases de uma obra, desde a

caracterização do sítio, passando pela análise e projeto até a tomada de decisões e construção. A incerteza é inerente à profissão. A influência da incerteza sobre a confiabilidade da segurança estimada pode ser significativa e frequentemente é refletida na ruptura de estruturas projetadas para serem seguras.

Para se ter maior precisão nas análises de estabilidade a NBR 11682 (ABNT,2009) determina coeficientes necessários para que um talude seja considerado seguro, tanto para danos contra vidas humanas quanto para danos materiais, esses coeficientes são denominados fatores de segurança (FS). Silva M. (2013) diz que quanto maior for o valor de FS acima da unidade, maior é a margem de segurança do talude. Ou seja, um coeficiente de segurança superior à unidade não indica necessariamente que o talude se encontra estável visto que a probabilidade de ruptura não é nula e pode ser significativa. Na tabela 01 é possível analisar esses coeficientes que são calculados através de métodos determinísticos.

Tabela 01: Fatores de Segurança Mínimo para Escorregamentos

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a 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: Adaptado de NBR 11682 (ABNT, 2009)

2.4.1. Cálculo de Estabilidade

O princípio para cálculo do fator de segurança de um talude é determinado pela equação 01:

“Equação (1)”: Condição de ruptura por escorregamento

$$FS = T_f/T_{mob} \quad (\text{Eq.1})$$

Fonte: Gerscovich, (2016)

Onde:

FS = Fator de Segurança

T_f = Resistência ao cisalhamento

T_{mob} = Tensões cisalhantes mobilizadas

Ou seja, a resistência ao cisalhamento deve ser maior que as tensões mobilizadas. Desta maneira, o resultado deste fator deve ser considerado de acordo com a tabela 02:

Tabela 02: Análise de resultado de fatores de segurança

Fator de Segurança	Condição
>1	Obra estável
=1	Ocorre ruptura
<1	Não tem significado físico

Fonte: Adaptado de Gerscovich (2016)

Considerando o resultado necessário para ser considerado estável um talude vemos que na tabela 03 os coeficientes de segurança são propositalmente elevados a fim de estabelecer uma resistência ao cisalhamento segura em função das tensões cisalhantes mobilizadas. Para determinar o valor do fator de segurança de um talude é possível optar entre dois métodos de análise: teoria de equilíbrio limite e análise de tensões.

A teoria de equilíbrio limite consiste na determinação de equilíbrio de uma massa ativa de solo, a qual pode ser delimitada por uma superfície de ruptura circular, poligonal ou de outra geometria qualquer (GERSCOVICH, 2016). Definindo de forma mais precisa Silva M. (2013) afirma que:

Os métodos atualmente usados na análise de estabilidade de taludes fundamentam-se na hipótese de que as massas terrosas se encontram em equilíbrio e se comportam como um corpo rígido-plástico na iminência de deslizamento bastando, desta forma, analisar as equações para a situação limite, sendo assim, chamados métodos de equilíbrio limite (Silva M. 2013, p.3).

Já para a análise de tensões Gerscovich (2016) determina como um princípio é baseado no método dos elementos finitos (MEF) ou das diferenças finitas (MDF). A vantagem desse estudo é que ele é desenvolvido através do auxílio de programas computacionais, assim possibilita a incorporação das várias características dos materiais envolvidos. Dentro dos métodos de cálculo há diferentes modelos matemáticos que buscam

calcular o fator de segurança, também é possível, por exemplo, determinar um Fator de Segurança com o auxílio de software através do método de teoria de equilíbrio.

2.5. PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA

Pequenas Centrais Hidrelétricas (“PCH’s”) são caracterizadas por potência de geração limitada até 30 MW (MegaWatts) e reservatório não superior a 3,0 Km² conforme definição do Atlas de Energia Elétrica, da ANEEL. Uma PCH segue o mesmo princípio de qualquer usina hidrelétrica onde é necessário se utilizar do desnível natural para que se possa ganhar o máximo de carga hidráulica, esse fator em específico implica em uma etapa da concepção da usina denominada “conduto forçado”, que consiste em uma tubulação que conduzirá a água sob pressão do ponto mais alto até o ponto mais baixo onde ficará a geradora eletromotriz.

A PCH que contempla a área desse estudo está localizada no município de Turvo no estado do Paraná, nas margens do rio Marrecas, que também é a fonte hídrica para a geração de energia dessa usina. O projeto denominado “PCH Boa Vista II” é uma obra de ampliação em uma área em que já existe uma usina operante visto que o rio em questão tem capacidade de atender a demanda de mais turbinas. A PCH existente tem capacidade de geração de 8,0 MW e a nova PCH terá capacidade de geração de 16 MW somando um total de 24 MW com os dois complexos.

Como citado anteriormente, uma PCH busca aproveitar ao máximo a diferença de nível natural para ganho de carga hidráulica, o escopo deste projeto é um exemplo disso, visto que barramento onde cria o reservatório para a captação de água fica aproximadamente a 3,0 Km do início do tomada de água de alta pressão, ou seja, o início do “conduto forçado” que por sua vez desce a encosta com aproximadamente 450 metros de comprimento e 200 metros de diferença de elevação.

2.6. CONDUTO FORÇADO

O conduto forçado é uma tubulação de aço que conduz a água até a casa de força onde ficam posicionados as turbinas e os geradores. Conduzindo a água sempre em uma pressão maior que a externa, para isso o condutor de água precisa estar muito bem apoiado e ancorado por blocos de concreto armado para evitar qualquer tipo de deslocamento ou interferências que possam deslocar a sua posição. A necessidade de analisar a estabilidade da encosta se encontra justamente ao fato de ter que construir estes blocos de ancoragem, visto que a segurança das pessoas que irão trabalhar e transitar nesta área é primordial, e claro, sustentar a estrutura construída sem que haja deslocamento.

A fundação dos blocos é determinada não somente pelo fator do solo, mas também carregamentos adversos que ocorrem em cada caso, por exemplo, as ancoragens mais próximas à casa de força estão expostas a esforços maiores pois quando fechado as comportas das turbinas repentinamente pode acontecer uma rejeição de carga, isto é, o acúmulo excessivo de água em alta velocidade, gerando um impacto na estrutura elevando o seu risco de deslocamento. Neste trabalho foi escolhida a área de maior instabilidade e variabilidade do solo para a análise contemplando a fundação de um dos blocos na região mais baixa da encosta. Como determina Silva P. (2006) o desafio aos projetistas das instalações hidráulicas é estabelecer condições seguras para a operação dos equipamentos (manobras): início e parada de operação de bombas ou turbinas, fechamento e abertura em válvulas de controle e , ainda, manter os transitórios gerados pelas variações de pressão e vazão em níveis compatíveis com a resistência estrutural da rede hidráulica.

3. METODOLOGIA APLICADA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho baseia-se em um estudo de caso, que é um método utilizado para desenvolver um estudo em uma unidade específica de um projeto global, buscando levantar dados e informações mais específicos trazendo clareza sobre o tema desenvolvido. No trabalho em questão o projeto global envolve a concepção de uma PCH nas margens do rio Marrecas no município de Turvo-PR, e a unidade de estudo é uma encosta que será utilizada para a construção de uma das etapas da obra. Nesta análise foi buscado de forma quantitativa dados referentes à estabilidade de uma encosta natural em que será construída uma etapa da obra denominada “conduto forçado”. O objetivo da análise é prescrever de forma determinística um valor de um coeficiente de segurança para vidas humanas e para danos materiais na área da encosta, para isso se utilizou de investigações geológicas realizadas no local a fim de levantar dados a serem inseridos em software capaz de realizar a análise desejada.

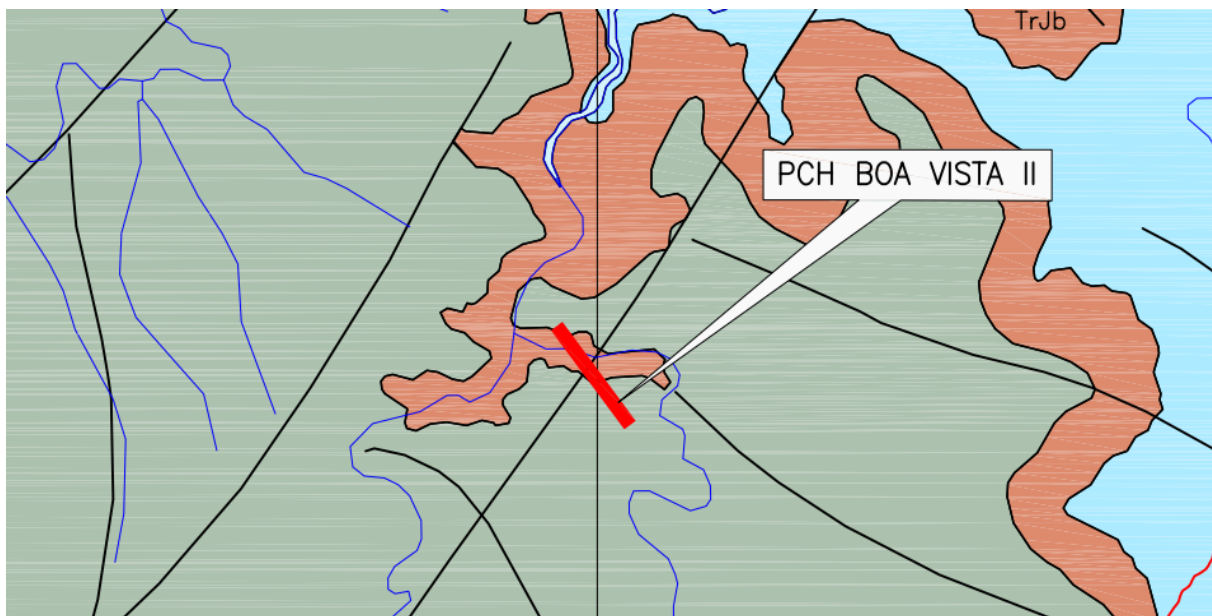
3.2. GEOLOGIA LOCAL

Para iniciar os estudos do solo na região da obra é necessário conhecer a formação geológica histórica, esses dados são levantados através da “*Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo*” que possui dados das formações geológicas do Brasil do último século. A partir disto, em função da localização da obra é possível identificar de maneira

geral a formação geológica encontrada na obra. É claro que este levantamento não define com detalhes o perfil geológico pois este possui alta variabilidade e depende de estudos de campo para ser definido.

Na Figura 03 temos o Mapa Geológico Regional que é definido pelos métodos descritos anteriormente. Neste mapa temos a localização da obra mostrando em qual tipo de solo característico da região ela está localizada, podendo assim saber as possibilidades de materiais a serem encontrados.

Figura 03: Mapa Geológico



Fonte: Projeto Executivo PCH BVII - VLB Engenharia (2021)

De acordo com o mapa há possibilidade de duas formações características litológicas. sendo elas de acordo com o quadro 03:

Quadro 03: Legenda do mapa (Imagem 02)

Legenda do Mapa	Litologia	Descrição
TrJb	<i>Formação Botucatu</i>	Composta por arenitos de granulometria fina a grossa, níveis conglomeráticos na parte superior, estratificação cruzada de médio porte.
JKsg	<i>Formação Serra Geral</i>	Composto por efusivas básicas toleíticas com basaltos maciços e amigdalóides, afaníticos, cinzentos a pretos, raramente andesíticos. Derrames de vulcanismo de fissura continental.

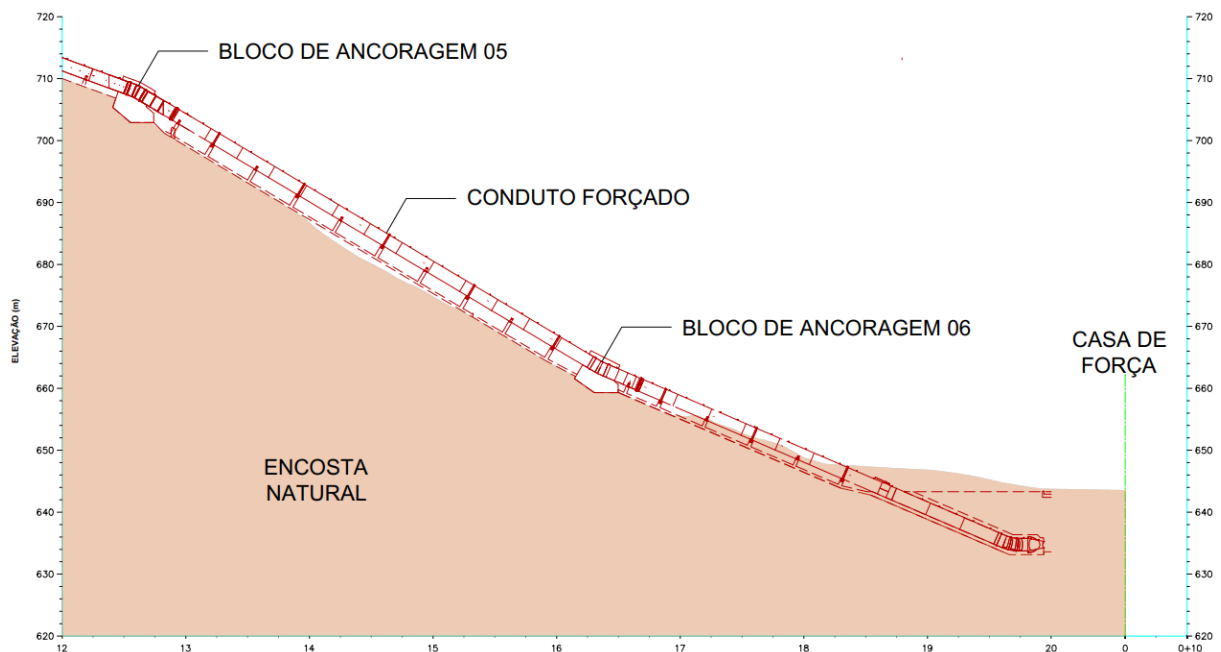
Fonte: Adaptado de Projeto Executivo PCH BVII - VLB Engenharia (2021)

A classificação litológica do mapa busca identificar o material de forma geral quanto a sua composição mineralógica, cor e tamanho de grão, mas não define com exatidão as características físicas de cada solo nem como estão distribuídas as formações por camadas. Para definição do perfil geológico é necessário fazer pesquisas investigativas no local da obra, para levantar informações com precisão.

3.3. LOCAL DA ANÁLISE

A encosta analisada para o estudo é utilizada de forma completa na estrutura da obra, ou seja, a estrutura projetada se inicia no seu topo e vai até a sua base. Em estudos geológicos preliminares é possível ver que o topo da encosta é formado predominantemente por formação rochosa de basalto, que é o material mais estável que se pode ter em questões de estabilidade. Conforme a encosta vai decaindo sua geologia vai alterando drasticamente para um material mais arenoso, e com maior variabilidade dos tipos de rocha, assim a estabilidade desta área se torna mais instável e com um fator de segurança mais variável. Dito isso, este estudo teve como base a área do talude utilizada para construção dos Bloco de Ancoragem 05 e 06 (B05 e B06), que é um ponto crítico de esforços gerados pelo funcionamento do conduto forçado.

Figura 04: Posicionamento em corte dos blocos de ancoragem 05 e 06.

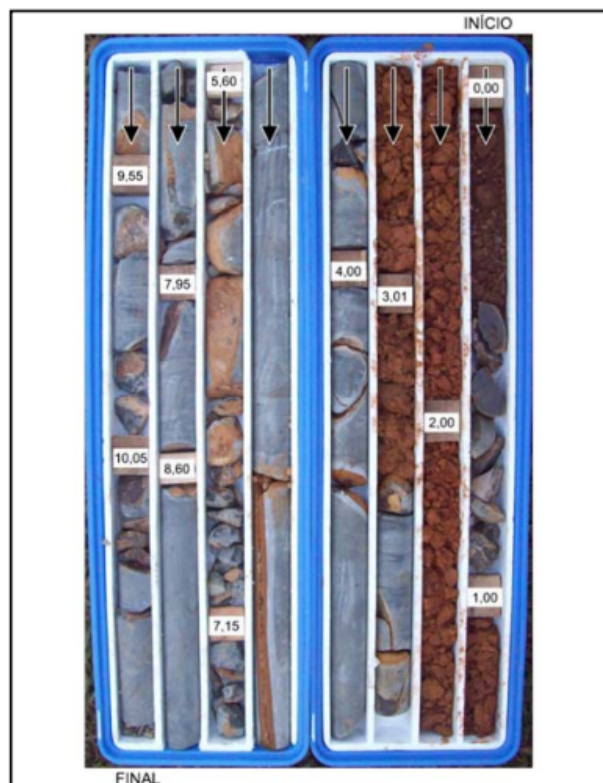


Fonte: Autoria própria (2021)

3.4 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS REALIZADAS

Como método de investigação foi utilizado o processo de sondagem percussiva que consiste na recuperação de amostras do material perfurado. No caso em questão foi feita uma sondagem com diâmetro de 100,0 milímetros e profundidade de aproximadamente 35,0 metros em pontos próximos às estruturas que serão construídas. O material retirado da sondagem foi posto em caixas na sequência de perfuração para identificação da cota de cada material, além de ser feito registro através de boletins descrevendo brevemente o material encontrado. Podendo identificar o material foi possível fazer a descrição geológica que consiste em identificar de forma técnica quais são as características das amostras retiradas, esta descrição é feita por um geólogo que possui os conhecimentos necessários para fazer tal etapa. A imagem 01 mostra um exemplo de uma caixa de sondagem com a identificação dos intervalos de perfuração em metros.

Imagem 01 : Exemplo de Caixa de Sondagem



Fonte: Relatório de Sondagem- PCH BVII-Empresa Geossistema (2021)

As amostras de sondagem são armazenadas nas caixas por tempo indeterminado para que em caso de qualquer eventualidade seja possível consultar e verificar o material coletado, assim de forma prática e em conjunto com o trabalho é emitido um relatório oficial com as informações coletadas, colocando em gráficos para facilitar a identificação. Dentre

as informações contidas no relatório duas classificações são extremamente relevantes para a análise de estabilidade: a coerência e a consistência ou fraturamento. A coerência busca classificar as amostras quanto a sua resistência, já a consistência classifica quanto às condições de consolidação do material, ou seja, a condição quanto ao fraturamento do material, estes aspectos são definidos por características analíticas também especificado por um geólogo. As classificações geomecânicas como são chamadas, são classificadas de acordo com o quadro 04:

Quadro 04 : Classificação Geomecânica

CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA			
Coerência		Consistência/Fraturamento	
Grau	Denominação	Grau	Denominação
C1	Muito Resistente	F1	Ocasionalmente Fraturada
C2	Resistente	F2	Pouco Fraturada
C3	Mediamente Resistente	F3	Mediamente Fraturada
C4	Rocha Branda	F4	Muito Fraturada
C5	Muito Branda	F5	Extremamente Fraturada

Fonte: Linhares (2011)

O local escolhido para fazer as sondagens foi paralelamente aos blocos de ancoragem que serão construídos, assim podendo definir com clareza qual é o tipo de solo que se encontra na região da fundação do bloco. Na sondagem não foi possível atingir o leito de rocha “sã”, isto é, a região do perfil geológico mais resistente e que é de maior confiança para se apoiar uma estrutura. É possível sim chegar ao leito de rocha “sã”, mas acaba tornando difícil devido a longa profundidade fazendo com que se torne mais viável construir uma estrutura resistente o suficiente para o solo encontrado.

De acordo com as análises de sondagem o perfil geológico para cada trecho tem as seguintes características:

Quadro 05: Análise da Sondagem Realizada Paralelamente ao B05

PROFUNDIDADE	DESCRIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO
0,00 a 5,0 metros	Arenito de Granulação fina a média, coloração branca a rosada.	C5	F5

5,0 a 10,0 metros	Arenito de granulação fina a média, coloração cinza claro esbranquiçado, com pouca matriz argilosa. Apresenta deslocamento nos planos de estratificação da rocha	C3	F3
10,0 a 13,0 metros	Arenito de granulação fina a média com níveis conglomeráticos, coloração cinza a claro bege, com pouca matriz argilosa. Apresenta deslocamentos nos planos de estratificação da rocha.	C2	F3
13,00 a 16,5 metros	Arenito de granulação fina a média, coloração cinza claro esbranquiçado, com pouca matriz argilosa. Apresenta deslocamento nos planos de estratificação da rocha	C3	F5
16,5 a 19,5 metros	Arenito de granulação fina, coloração cinza, friável, apresenta deslocamento nos planos de estratificação da rocha.	C4	F3
19,5 a 30,0 metros	Arenito de granulação fina a média, coloração cinza claro a rosado, com pouca matriz argilosa. Apresenta deslocamento nos planos de estratificação da rocha	C3	F3

Quadro 06: Análise da Sondagem Realizada Paralelamente ao B06

PROFUNDIDADE	DESCRIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO
0,0 a 11,5 metros	Areia fina, coloração castanho claro/bege	NI*	NI*
11,5 a 18,5 metros	Arenito de granulação fina a média, coloração cinza claro esbranquiçado, com pouca matriz argilosa, friável	C3	F5
18,5 a 22,70 metros	Basalto textura afanítica, estrutura maciça	C3	F5
22,70 a 31,5 metros	Arenito de granulação fina a média, coloração cinza claro esbranquiçado, com pouca matriz argilosa. Apresenta deslocamento nos planos de estratificação da rocha.	C3	F3

*NI = Não informado

De acordo com os quadros 05 e 06 vemos que o material que compõe a encosta varia entre uma coerência média (C3) e também um fraturamento médio (F3) com trechos

de maior fraturamento e menor resistência na parte superior da camada do solo. Com a descrição do tipo de material identifica-se a profundidade se inicia o material com propriedades mais resistentes. Esses dados são utilizados tanto para a análise de estabilidade quanto para a definição de fundação do bloco de ancoragem.

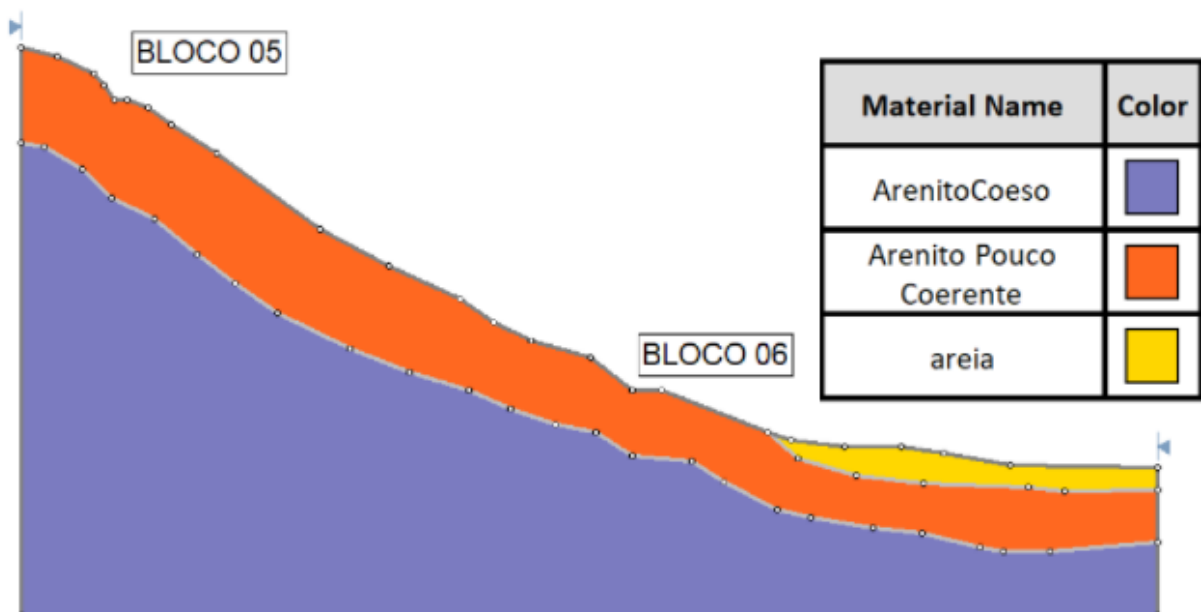
4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL

O objetivo da análise foi descobrir o fator de segurança para o trecho da encosta determinada, primeiramente somente com o perfil do solo natural e posteriormente com a aplicação da fundação dos blocos de ancoragem definidos em projeto




Foi utilizado o software *Slide2* da *Rocscience* que permite fazer análises a partir da configuração bidimensional de uma encosta, assim podendo obter diversos resultados em relação a qualquer tipo de equilíbrio limite. A partir dos dados obtidos nas sondagens o primeiro passo a se fazer é construir o perfil geológico com as características do solo obtidas, desta maneira foi possível montar através do levantamento topográfico de projeto o perfil com os dados do solo.

Figura 06 : Perfil Geológico no Software



As características do solo neste perfil foram definidas de acordo com o quadro 07:

Figura 07: Características do solo no software

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Arenito Coeso		25	Mohr-Coulomb	30	45
Arenito Pouco Coerente		22	Mohr-Coulomb	25	37
areia		17	Mohr-Coulomb	0	30

Software Rocscience: Slide2 - Versão Estudante (2021)

Onde as propriedades são medidas pelas seguintes unidades:

Unit weight (Peso Unitário) = KN/m³

Strength Type (Tipo de Força) = Mohr Coulomb

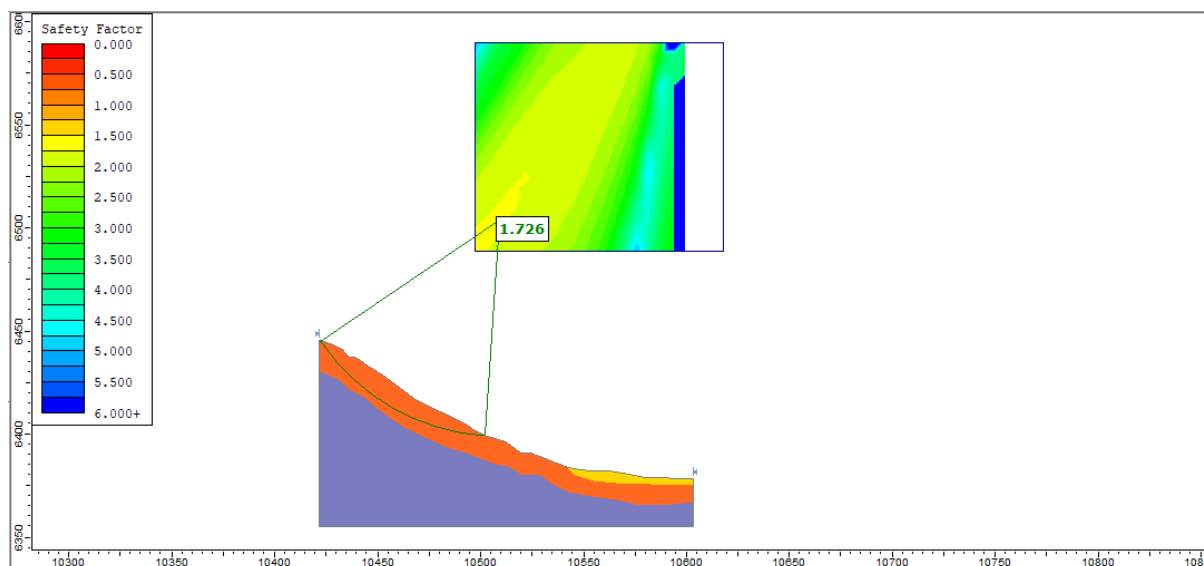
Cohesion (Coesão ou Resistência) = Kpa

Phi (Ângulo de Atrito) = Graus

O software identifica automaticamente o ponto mais crítico, ou seja, o ponto de maior instabilidade para que seja analisado. É possível também escolher qual método matemático será utilizado para calcular o fator de segurança, podendo ser escolhido entre o método Bishop ou Jambu, sendo que os dois trazem resultados muito próximos, mas o de Jambu sempre é um pouco menor.

Para o cálculo em questão foi utilizado o método Bishop onde fator de segurança atingiu 1,73. Portanto, de acordo com a norma NBR 11682 que considera como fator altamente seguro o valor de 1,5 tanto para danos contra vidas humanas quanto para danos materiais, sabemos que essa encosta na sua condição natural está estável para ser trabalhada sobre ela. Após configurado o trecho da encosta que se deseja analisar é possível ter o fator de segurança de acordo com a imagem 06:

Figura 07: Resultado do fator de segurança para a encosta natural



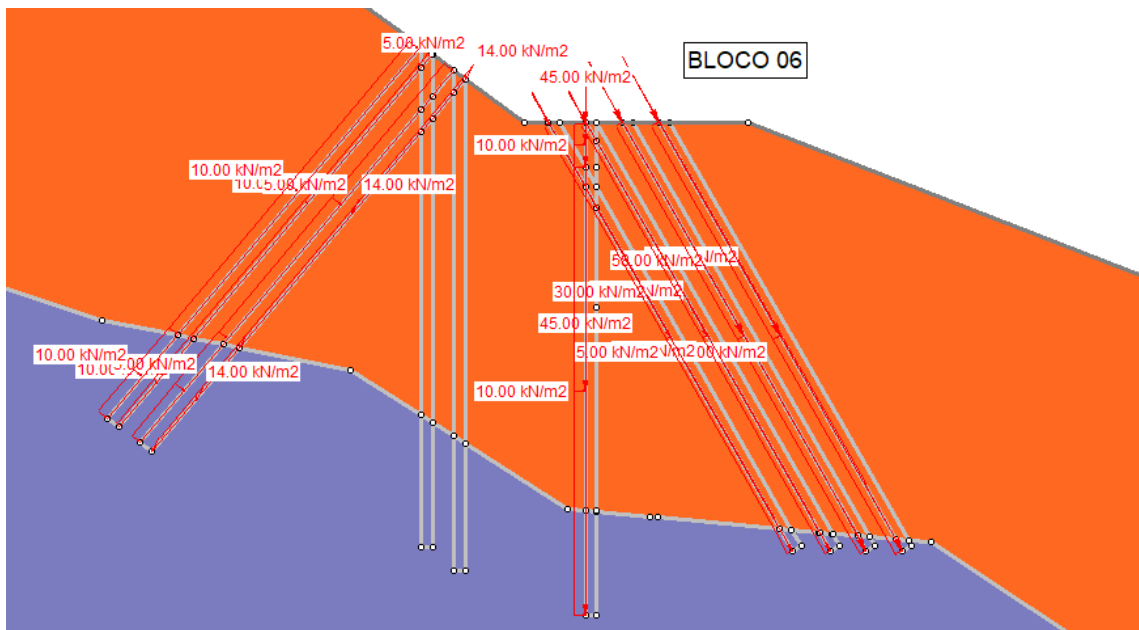
Software Rocscience: Slide2 - Versão Estudante (2021)

4.2. ANÁLISE COM FUNDAÇÃO DO BLOCO

Esta etapa da análise consiste em adicionar a fundação de um bloco na sua posição pré determinada na encosta. As propriedades da fundação, como seu modelo, tamanho, posicionamento e cargas aplicadas, foram definidas a partir de sua trabalhabilidade em função da PCH. Este estudo específico da fundação é feito por pessoas especializadas neste projeto, e com essas informações é possível simular a estrutura dentro do mesmo perfil geológico do software.

Para este estudo foram utilizados as informações já existentes para o bloco de ancoragem 06 (B06) onde o projeto prevê a execução de estacas de 13,0 metros de profundidade e cargas axiais variáveis entre 10,0 KN (kilonewton) a 45,0 KN (kilonewton). A distribuição e a angulação das estacas também é definido pelo projeto, e todas essas informações são possíveis de serem adicionadas no software para que possam ser calculadas, deste modo é possível ajustar para que seja feita a análise da estabilidade somente na proximidade do bloco, a fim de ter precisão em relação a esta etapa.

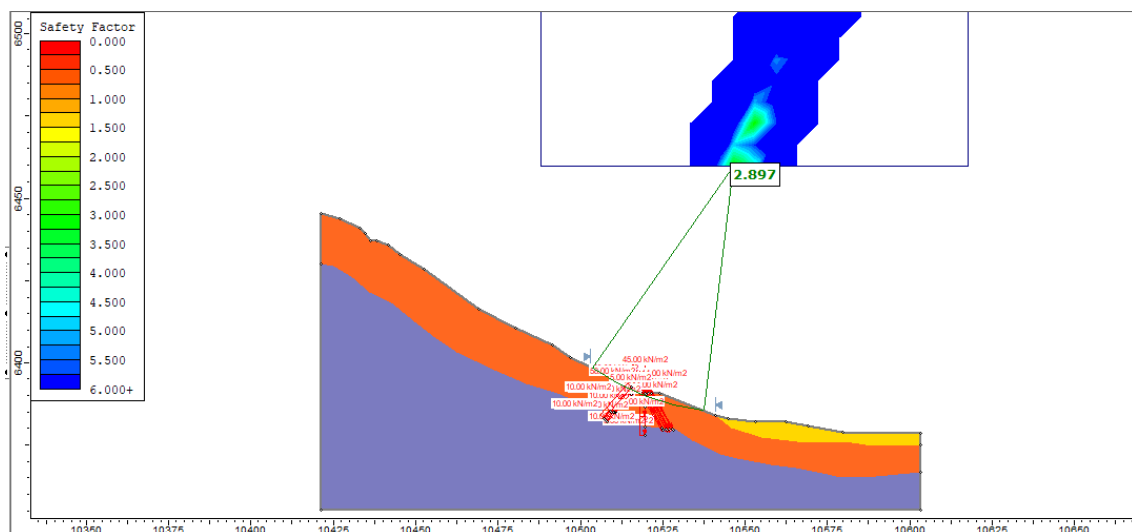
Figura 08: Aplicação de estacas na encosta



Software Rocscience: Slide2 - Versão Estudante (2021)

Na imagem 08 é possível visualizar o posicionamento das estacas definidas para a fundação do bloco de ancoragem 06. Também é possível ver que o projeto tentou atingir a maior profundidade possível para alcançar o material com maior resistência.

Figura 09: Fator de segurança com estacas aplicadas na encosta



Software Rocscience: Slide2 - Versão Estudante (2021)

Após posicionadas as estacas o procedimento de análise para o fator de segurança é o mesmo utilizado na análise global, apenas ajustando para que o cálculo seja feito em um raio de influência desta estrutura, que neste caso foram adotados 20,0 metros.

Nesta análise vemos que o valor para o fator de segurança é de 2,897 considerando um raio de aproximadamente 20,0 metros de distância do centro do bloco, assim conclui-se que a estrutura aplicada para apoiar o bloco de ancoragem torna a região mais estável do que anteriormente e também com um valor elevado em relação ao fatores da norma.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos geológicos-geotécnicos aplicados no canteiro de obra são fundamentais na concepção de um projeto, pois estes garantem a certeza do tipo de solo que se está trabalhando, ajudando a prevenir acidentes e a garantir a viabilidade de estruturas projetadas. As investigações geológicas são uma etapa fundamental para qualquer construção, neste caso foi possível definir o perfil geológico da encosta e ter dados mais precisos do material retirado. O solo investigado apresentou baixa resistência e alta variabilidade em sua coesão, ou seja, tornou a necessidade de uma análise ainda maior.

A análise de estabilidade para a encosta estudada apresentou-se com bons resultados, tanto em sua forma natural quanto com a projeção de blocos de ancoragem construídos em sua superfície. Os valores obtidos dos fatores de segurança são satisfatórios para segurança de vidas humanas e para danos materiais, obedecendo os valores mínimos exigidos pela norma referente à estabilidade de taludes. O uso de tecnologia para o estudo favorece na precisão dos resultados e na agilidade da análise.

Com os dados obtidos conclui-se que a obra pode ser realizada com segurança no trecho analisado, e que as estruturas projetadas não afetam negativamente a estabilidade do talude, assim pode-se considerar este local adequado para a construção do conduto forçado.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Estabilidade de encostas**. NBR 11682, 2008.

BURTON, A.; BATHURST, J. C. **Physically based modelling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale**. Environmental Geology, v. 35, n. 2-3, p. 89-99, 1998.

COSTA, ELI ANTONIO. **Avaliação de Ameaça e Risco Geotécnico Aplicados à Estabilidade de Taludes**. Porto Alegre-RS, 2005.

DYMINSKI, A. S. (s.d.). **Noções de estabilidade de taludes e contenções**. Notas de Aula - Estabilidade de Taludes.

FOLLE, DAIANE. **O estudo geoestatístico de sondagens spt para geração de mapas auxiliares em obras de engenharia**. Porto Alegre - RS, 2002.

GERSCOVICH, DENISE M. S. **Estabilidade de Taludes/ Denise M. S. Gerscovich**. --2. ed. -- São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GUERRA, A. J. T. **Encostas e a Questão Ambiental**. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA, S.B. A. **Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**, Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

HACHICH, W. FALCONI, F.F. ; SAES, J.L. FROTA, R.G.Q. ; CARVALHO, C.S. ; NIYAMA, S. **Fundações – Teoria e prática**. São Paulo, Ed. Pini, ABMS/ABEF, 2ª. ed., 2000, 121p.

MICHEL, GEAN PAULO, **Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação**. Florianópolis, 2013.

OLIVEIRA, BRUNO RODRIGUES; ANTÔNIO, GABRIELA BRANQUINHO, **Modelagem geoestatística aplicada à geologia de engenharia**. Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2017.

RECKZIEGEL, ELISABETE WEBER, **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS**. Porto Alegre-RS, Janeiro de 2012.

SILVA, ERIC MEDEIROS. **Análise de estabilidade de taludes em solos de alteração de rochas metamórficas do quadrilátero ferrífero**. Viçosa-MG, 2006.

SILVA, MARIA JOÃO FÉLIX. **Análise de estabilidade de taludes pelo método de equilíbrio limite geral**. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

SILVA, PEDRO ALVES. **Amortecimento da celeridade de onda em condutos forçados**. São Paulo, 2006.

VLB ENGENHARIA. **Projeto Executivo PCH Boa Vista II**. Turvo-PR, 2021.