MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Maria Luíza Nunes Teixeira

Modelagem Computacional de Dispositivos de Drenagem em Cortinas Atirantadas

Ouro Preto
2019

Maria Luíza Nunes Teixeira

Modelagem Computacional de Dispositivos de Drenagem em Cortinas Atirantadas

Monografia de apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Geotecnia

Orientadora: Profa. Christianne de Lyra Nogueira
Co-orientadora: Luma Alvarenga Carvalho de Vasconcelos

Ouro Preto
2019

T266m Teixeira, Maria Luíza Nunes.
Modelagem computacional de dispositivos de drenagem em cortinas atirantadas [manuscrito] / Maria Luíza Nunes Teixeira. - 2019.

49f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Christianne de Lyra Nogueira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Drenagem. 2. Cortina atirantada.. 3. Modelagem Computacional. I. Nogueira, Christianne de Lyra. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Titulo.

CDU: 624

Catalogação: ficha.sisbin@ufop.edu.br

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ATA No. 272 DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA A CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRA CIVIL.

DATA DA DEFESA: 11 / 07 /2018
CANDIDATA: Maria Luiza Nunes Teixeira
ORIENTADORA: Profa. Christianne de Lyra Nogueira (D.Sc)
CO-ORIENTADORA: Ma. Luma Alvarenga Carvalho de Vasconcelos

BANCA EXAMINADORA:
Profa. Christianne de Lyra Nogueira (D.Sc) (Presidente/Orientadora)
Ma. Luma Alvarenga Carvalho de Vasconcelos
Prof. Lucas Deleon Ferreira (D. Sc.)
Mauro Pio dos Santos Junior

TÍTULO DO TRABALHO:

MODELAGEM COMPUTACIONAL DA EFICIÊNCIA DE DISPOSITIVOS DE DRENAGEM EM CORTINAS ATIRANTADAS

Em sessão pública de defesa de trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, após exposição do trabalho e arguição oral da candidata pelos membros da banca, a comissão avaliadora deliberou pela APROVAÇÃO da candidata com a nota: 6,0, concedendo-lhe 15 dias para incorporar no texto final as alterações determinadas/sugeridas pela banca. A aluna fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina CIV 191 (Trabalho de Conclusão de Curso II) após a entrega do gabarito do orientador confirmando a aceitação da versão final do trabalho. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é abaixo assinada pelos membros da banca na ordem acima determinada e pelo candidato.

Ouro Preto, 11 de julho de 2018

Presidente: _____

Membros: _____

_____

_____

Candidata: _____

Agradecimentos

Primeiramente à Deus e ao Universo por todas as oportunidades.

À minha família por estar comigo durante essa jornada.

À Escola de Minas e UFOP por todos os ensinamentos.

À Christianne pela oportunidade.

À Luma pela colaboração e aprendizado.

Ao Mauro pela paciência e exímia colaboração.

Ao meu Squad pelas companhias e diversão, em especial à Ingrid e Letícia, pelo apoio.

Ao Picolé pela amizade, companhia nas *ferrações* e pelas *cadeiras rancadas*.

Á Dow pelo crescimento, aprendizado, incentivo e por me manter resiliente.

Enfim, mais um ciclo se encerra, *let's play the next level*. Viva a Escola de Minas!

RESUMO

A presença de água nos solos é fator determinante ao executar uma obra ou iniciar um projeto, pois altera parâmetros e condições de execução. Nas estruturas de contenção o bom funcionamento do sistema de drenagem é de extrema importância para eficiência da mesma. Um sistema de drenagem ineficiente pode alterar o fator de segurança da estrutura e até mesmo levar ao colapso da obra. O excesso de água dentro do solo pode diminuir sua tensão efetiva e consequentemente sua resistência ao cisalhamento, causando diversos problemas tais como deslizamentos, corridas, tombamento de estruturas de contenção, erosão, etc... O acúmulo de água no maciço pode até duplicar o empuxo atuante em muros de arrimo.

Diante disso, este trabalho de conclusão de curso avaliou dispositivos do sistema de drenagem determinando-se o coeficiente de segurança de uma cortina atirantada, através da modelagem computacional, cuja solução é obtida através do método de elementos finitos. Considerou-se para essa análise um problema de fluxo em meios porosos, com parâmetros retirados da literatura. Foram estudados três dispositivos de drenagem interna diferentes para a obra de contenção, a saber: i) Trincheira Drenante, ii) Dreno de Paramento e iii) Dreno Horizontal Profundo.

Os resultados foram analisados quanto ao fluxo, a distribuição das poropressões e estabilidade global da estrutura/maciço. Discutiu-se sobre o uso do software utilizado, suas limitações e possíveis melhorias que podem ser implementadas ao estudo.

Palavras-chave: Cortina atirantada. Drenagem. Estabilidade. Estruturas de contenção. Modelagem computacional.

ABSTRACT

The presence of water in soils is a very important point when executing or making a project, it changes parameters and conditions. Talking about retaining structures, the drainage system is extremely important, because if it does not work well it compromises the efficiency of the structure at all, an inefficient drainage system can change the Safety Factor and sometimes it can lead to the collapse of structure. Water in excess inside the soil can reduce its effective stress and consequently its shear resistance, it can cause several problems such as landslides, tipping of retaining structures, erosion, etc.

Therefore, this final project evaluated the drainage system devices by the determination of the Safety Factor of an anchored wall through computational modeling. The software used obtains the solution using the finite element method. For this analysis we considered a flow problem in porous material, the parameters were taken from the literature. We studied three different drainage devices: i) Leveling Pad ii) Drainage Aggregate iii) Horizontal Drain.

The results were analyzed considering: flow, pore-water pression distribution and overall structure stability. We also discussed the use of the software used and we have concluded that to reach assertive results we need to improve the modeling.

Key Words: Anchored wall. Computational Modeling. Drainage. Retaining Structures. Stability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 5
1.1 Objetivos 6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7
2.1 Cortinas Atirantadas 9
2.2 Sistemas de Drenagem 14
2.2.1 Dispositivos de drenagem 14
a Canaletas 14
b Descidas d'água 15
c Drenos Sub-Horizontais Profundos (DHP) 16
d Trincheira drenante 17
e Drenos de paramento 18
2.3 Fluxo em Meio Poroso 19
2.4 Método do Elementos Finitos 20
3 METODOLOGIA 22
4 DESENVOLVIMENTO DAS ANÁLISES DE FLUXO E DE ESTABILIDADE 23
4.1 Parâmetros geométricos e geotécnicos 23
5 APLICAÇÃO DO SEEP/W E SLOPE/W 30
5.1 Cenário 1: Trincheira Drenante 33
5.2 Cenário 2: Trincheira Drenante com Dreno de Paramento 35
5.3 Cenário 3: Trincheira Drenante com Dreno de Paramento e Dreno Horizontal Profundo 37
6 RESULTADOS 39
7 CONCLUSÃO 41

1 Introdução

Inúmeras vezes o reduzido espaço disponível para implantação de uma determinada obra não permite que os cortes nos taludes sejam feitos com ângulos muito abatidos. Nesses casos, os taludes finais podem se tornar muito altos e/ou íngremes comprometendo assim a sua estabilidade a longo prazo. Desta forma, as estruturas de contenção são projetadas para prover suporte para essas massas de solo não estáveis (Lambe e Whitman, 1979).

As estruturas de contenção podem ser classificadas de acordo com a sua transitoriedade como provisórias ou definitivas e pelo funcionamento estrutural como flexíveis ou rígidas. A escolha adequada do tipo de contenção implica em uma correta avaliação das características do terreno (meio físico) e dos processos de instabilização envolvidos.

Independentemente do tipo de contenção adotada, a escolha correta do sistema de drenagem é imprescindível para a eficiência da mesma. O excesso de poropressão pode diminuir sua tensão efetiva e consequentemente sua resistência ao cisalhamento, causando diversos problemas tais como deslizamentos, corridas, tombamento de estruturas de contenção, erosão interna (piping), etc... Assim, o manejo da água do interior da massa de solo é um dos aspectos mais importantes para garantia do desempenho a longo prazo da estrutura. A ineficiência do sistema de drenagem pode alterar o fator de segurança e até mesmo levar ao colapso da obra.

Na escolha e projeto do sistema de drenagem ideal devem ser feitos estudos hidrológicos, topográficos e geotécnicos. Além disto, uma análise do processo de fluxo no interior da massa para as diferentes configurações do sistema de drenagem deve ser considerado no sentido de se definir o melhor arranjo que apresente a maior eficiência definida em termos do fator de segurança obtido numa análise de estabilidade de talude. A análise do processo de fluxo pode ser feita pela via da modelagem numérica/computacional.

No presente trabalho será apresentada a modelagem computacional utilizando os softwares SEEP/W (que tem como base o método dos elementos finitos) e SLOPE/W (utilizando a metodologia de equilíbrio limite) da Geo-Slope para analisar sistemas de drenagem em uma determinada estrutura de contenção.

1.1 Objetivos

A influência das poropressões na estabilidade de uma estrutura de contenção é um dos fatores mais importantes a serem considerados na fase de projetos. O acúmulo de água no maciço contido pode até duplicar o empuxo atuante em muros de arrimo. Por isso, o dimensionamento de um sistema de drenagem eficiente é indispensável para esses tipos de estrutura.

Sendo assim, pretende-se com este trabalho de conclusão de curso simular sistemas de drenagem de uma cortina atirantada e avaliar a eficiência dos mesmos utilizando para isso análises de fluxo e de estabilidade de taludes pela via computacional com o pacote GeoStudio 2018.

Considerou-se para essa análise um problema de fluxo em meios porosos saturado levando em conta três diferentes sistemas de drenagem.

2 Revisão bibliográfica

Segundo Marangon (2006) e Gerscovich (2018) a água influencia significativamente na estabilidade das estruturas de contenção, e para que um comportamento satisfatório da estrutura de contenção seja adquirido é fundamental a utilização de sistemas de drenagens eficientes.

Os sistemas de drenagem podem ser superficiais ou subterrâneos. O sistema superficial é responsável por captar e conduzir as águas que incidem na superfície (considerando não só a área da região estudada como toda a bacia de captação). O sistema de drenagem subterrânea tem como função controlar as magnitudes de pressões de água e/ou captar fluxos que ocorrem no interior da estrutura.

Os principais dispositivos utilizados na drenagem superficial são as canaletas transversais, canaletas longitudinais de descida (escada), dissipadores de energia (Figura 2.1) e caixas coletoras por exemplo, além das proteções superficiais, que podem ser com vegetação (especialmente para taludes não naturais) ou com impermeabilização (Figura 2.2). Nos sistemas de drenagem subterrânea, ou profunda, os principais dispositivos são: os drenos horizontais, as trincheiras drenantes longitudinais, os drenos internos de estruturas de contenção, os filtros granulares e geodrenos (Figura 2.3). Estes dispositivos controlam as magnitudes de pressões de água e captam fluxos que ocorrem no interior dos taludes rebaixando o nível piezométrico. (Gerscovich, 2018).

Figura 2.1 Dissipador de Energia (ACI, 2015)

Figura 2.2 Impermeabilização com concreto projetado (NTC, 2015)

Figura 2.3 Geodrenos (Petrucio, 2008)

Silva e Costa (2017) pesquisaram sobre a influência do sistema de drenagem na estabilidade do muro de arrimo. Os autores concluíram que o colapso de um muro de arrimo, muitas vezes, está associado à presença de água no maciço, que gera pressões hidrostáticas para os quais o muro não foi dimensionado. O efeito da água acumulada pode diminuir substancialmente a resistência ao cisalhamento devido à redução da pressão efetiva. A redução da resistência ao cisalhamento diminui o fator de segurança do muro.

Sabendo-se da importância da eficiência dos sistemas de drenagem para o “bom funcionamento” das obras de terra, De Souza et al.(2005) realizaram simulações numéricas para avaliar o regime de fluxo na barragem Jaburu I. Através de um software de domínio público e adotando algumas hipóteses como homogeneidade do material, solo e água incompressíveis e validade da Lei de Darcy, foi possível determinar a permeabilidade hidráulica das seções analisadas. Os resultados encontrados foram comparados com os dados de instrumentação de campo disponíveis e a resposta obtida foi satisfatória, uma vez que as linhas

piezométricas, real no aterro da barragem e da simulação numérica foram praticamente coincidentes.

2.1 Cortinas Atirantadas

As cortinas e os muros atirantados destacam-se, como as obras de contenção de encostas de maior eficácia, versatilidade e segurança. Trata-se da execução de elementos verticais ou subverticais de concreto armado, que funcionam como paramento e que são ancorados no substrato resistente do maciço através de tirantes protendidos (Figura 2.4). O paramento pode ser constituído de placas isoladas para cada tirante, de placas englobando dois ou mais tirantes ou de cortina única, incorporando todos os tirantes (Carvalho, 1991).

Figura 2.4 Cortina Atirantada (Bonafé, 2016)

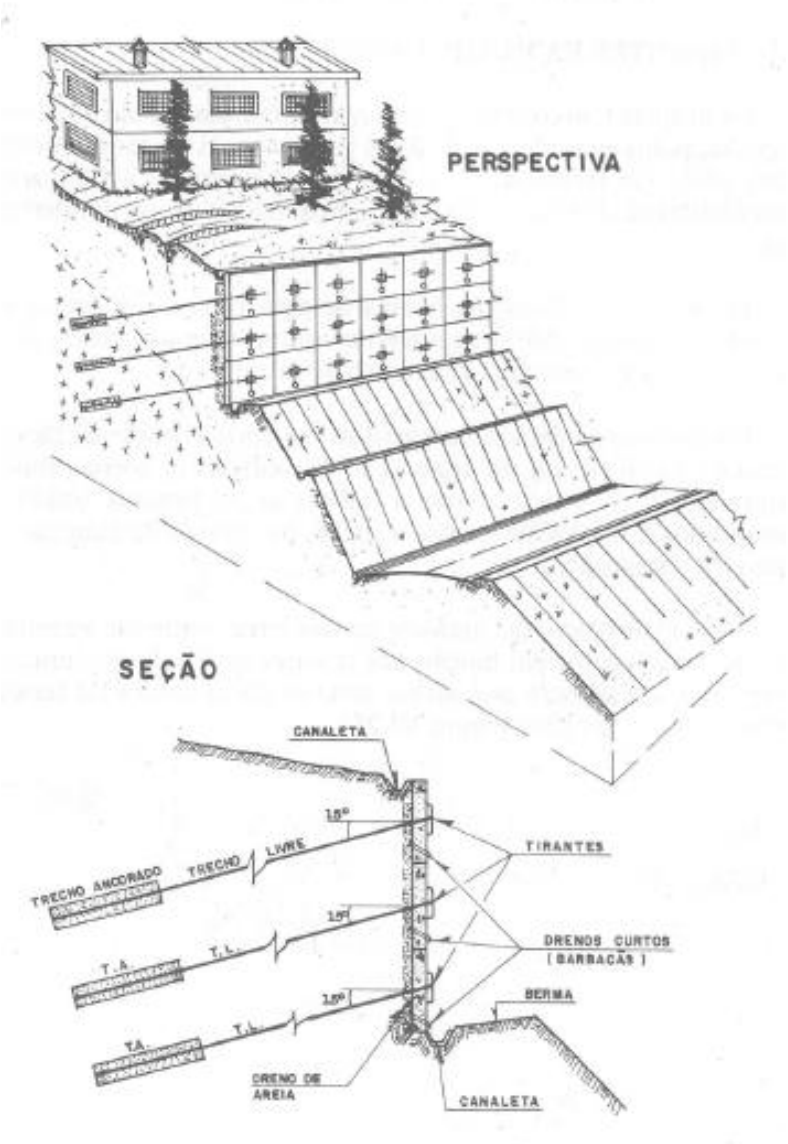
Dyminski (2018) define a cortina atirantada como uma parede de concreto armado, através dos quais o maciço é perfurado (furos com o diâmetro entre 10 e 15cm), sendo introduzidas nos furos barras metálicas (os tirantes) e nata de cimento a alta pressão. A nata de cimento penetra nos vazios do solo, formando um bulbo, e ancorando os tirantes. Após a cura da nata, os tirantes são protendidos e presos na parede de concreto, o que faz com que esta estrutura seja “empurrada” contra o maciço como indicado na Figura 2.5.

A ancoragem é basicamente constituída por um ou mais elementos de aço (tirantes) protegidos contra a corrosão capaz de suportar esforços de tração e de

transmiti-los ao solo através da interação com o bulbo. De acordo com a NBR5629 o bulbo não deve romper por arrancamento ou fluência e os valores dos fatores de segurança para dimensionamento também são encontrados na norma.

A extremidade do tirante que fica fora do solo é chamada e cabeça e o trecho que liga a cabeça ao bulbo é conhecido como trecho livre. Nesse trecho o tirante fica isolado da calda de injeção (nata de cimento). Também de acordo com a NBR5629 esse trecho não pode ser inferior 3m.

Figura 2.5 Esquema: Cortina Atirantada (Carvalho, 1991)



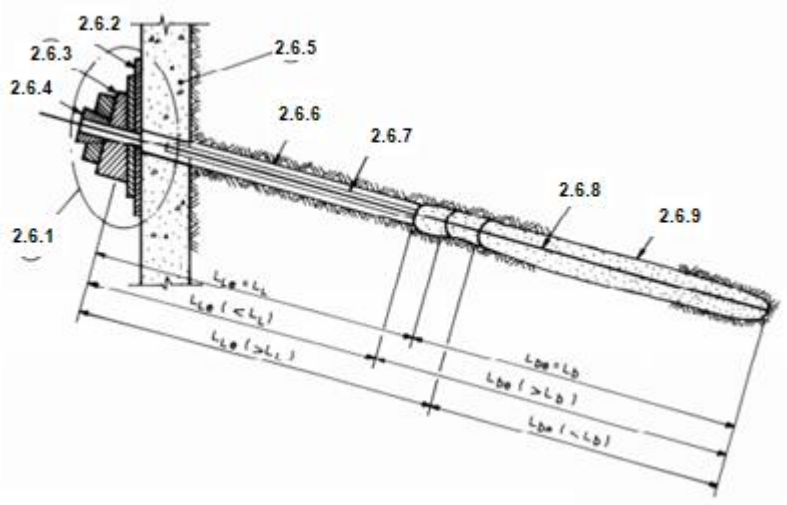
Além da cabeça e trecho livre (Figura 2.6), há o trecho ancorado, no qual a nata de cimento obedece uma relação água cimento de 0,5 e é aplicada geralmente em

fases, que pode variar de uma a quatro, com volume de 20 a 60 litros por fase. Por apresentarem características mecânicas diferentes, o comprimento necessário para ancorar o aço na calda de cimento é significativamente menor do que o necessário para ancorar o bulbo no solo.

Ainda com base na NBR-5629 a fase de protensão da ancoragem deve ser executada após decorridos 7 dias da cura da calda com cimento Portland comum ou após 3 dias quando da utilização de calda com cimento de alta resistência inicial. Em cada obra são necessários dois ensaios de recebimento e dois ensaios de fluência, realizados em geral simultaneamente. A finalidade de protensão é tracionar a ancoragem, colocando-a sob carga antes da aplicação dos esforços provenientes do maciço de solo com o objetivo de diminuir os deslocamentos da estrutura de contenção (More, 2003).

Os tirantes são os principais componentes da cortina atirantada, responsáveis por fazer a ligação entre o bulbo ancorado no interior do solo e o painel de contenção na parte externa da encosta. Eles variam entre monobarra (fio único de aço), cabo formado por vários fios e cordoalha (vários cabos). O material utilizado para confecção do tirante é o aço especial de alta capacidade e a capacidade de carga dos tirantes disponíveis no mercado varia entre 150 kN a 1.200 kN (Bonafé, 2016).

Figura 2.6 Esquema Tirante (Teixeira, 2011)



2.6.1 – Cabeça
2.6.2 – Placas de Apoio
2.6.3 – Cunha de Grau
2.6.4 – Bloco de Ancoragem
2.6.5 – Estrutura Ancorada
2.6.6 – Perfuração do Terreno
2.6.7 - Bainha
2.6.8 – Aço, fibra, etc.
2.6.9 – Bulbo de ancoragem

O uso da cortina atirantada apresenta algumas vantagens quando comparada a outras estruturas de contenção. More (2003) cita algumas delas: pode ser projetada independentemente da altura do talude; não requer fundações cravadas na parte baixa do talude; pode ser construída em qualquer altura do talude e somente nas faixas de terreno que apresentam maior instabilidade; permite a execução de cima para baixo ou de baixo para cima; apresenta simplicidade construtiva (pois a carga de reação provém do interior do maciço de solo e os elementos estruturais utilizados são simples e de fácil manuseio); os tirantes são autoportantes (não necessitando de estudos mais detalhados de fundação) e funcionais pois trabalham ativamente devido à protensão (suportam esforços com um mínimo de deslocamentos da estrutura e minimiza as deformações do terreno, o que é importante de ser considerado quando existem construções nas proximidades); pode ultrapassar quaisquer obstáculos por perfuração do material e não impõem obstáculos externos, pois são elementos totalmente enterrados.

A seguir apresenta-se um exemplo de dimensionamento de cortina atirantada. Uma cortina deve ser dimensionada para conter um talude, a altura de projeto da estrutura será de 10,00 metros, o solo contido tem suas informações fornecidas a seguir (Tabela 2.1). Também são fornecidos os dados dos elementos de ancoragem (Tabelas 2.2 e 2.3). O ângulo de deslocamento (δ) é igual a 0°(Romanini, 2017). A solução é apresentada nas Figuras 2.7 e 2.8.

Figura 2.7 Solução final, vista lateral (Romanini, 2017)

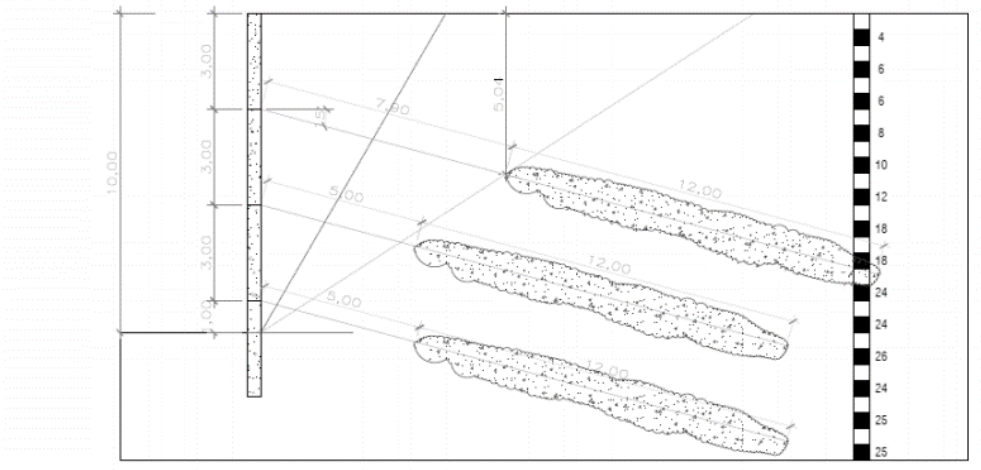


Figura 2.8 Solução final, vista frontal (Romanini, 2017)

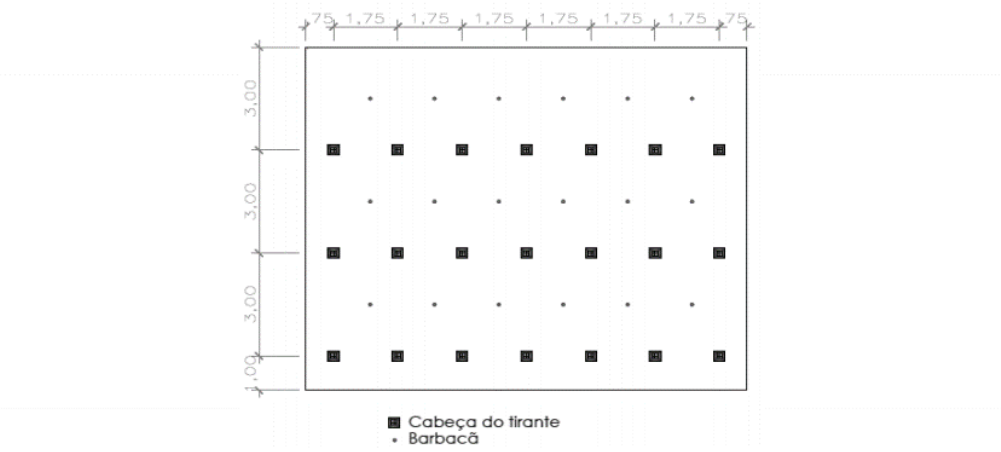


Tabela 2.1 Parâmetros do Solo - Exemplo de Dimensionamento de Cortina

Parâmetros do Solo	
Peso Específico (kN/m³)	17
Ângulo de Atrito Interno (°)	30
Coesão (kPa)	7,5

Tabela 2.2 Propriedades dos Sistemas - Exemplo de Dimensionamento de Cortina

PROPRIEDADES DOS SISTEMAS							
		Sistemas Dywidag			**Sistemas *Gewi****		
Diâmetro Nominal	**mm**	**36**	**32**	**15**	**50**	**32**	**25**
Tensão de Escoamento	kgf/mm²	85	85	85	50	50	55
Tensão de Ruptura	kgf/mm²	105	105	105	55	55	75
Carga de Escoamento	Tf	86	68	15	96	40	27
Carga de Ruptura	Tf	107	84	18	108	44	37
Módulo de Elasticidade	kgf/mm²	21000	21000	21000	21000	21000	21000
Passo	mm	18	16	10	26	16	12,5
Área da Seção Transversal	mm²	1018	804	176	1963	804	491
Peso	kgf.m	8,14	6,24	1,14	15,4	6,24	3,9

Tabela 2.3 Cargas de Trabalho dos Tirantes - Exemplo de Dimensionamento de Cortina

CARGAS DE TRABALHO						
SISTEMAS	**GW 50mm**	**DW 36mm**	**DW 32mm**	**GW 32mm**	**GW 25mm**	**DW 15mm**
Tirantes Provisórios	59 tf	51 tf	41 tf	24 tf	16 tf	9 tf
Tirantes Permanentes	50 tf	45 tf	35 tf	21 tf	14 tf	8 tf

2.2 Sistemas de Drenagem

Como mencionado anteriormente, a água pode gerar diversos efeitos sobre um maciço de solo, dentre eles: aumento do peso específico, aumento da poro-pressão, forças de percolação e etc. Sendo assim, é extremamente importante que seja feita uma drenagem adequada do terreno, através do uso de sistemas de drenagem eficiente, especialmente em estruturas de contenção, que geralmente não são dimensionadas para resistirem ao empuxo de d'água na face do talude.

Em relação as cortinas atirantadas, as opções são: canaletas de crista e de pé, descida d'água, dreno sub-horizontal profundo (DHP), dreno de paramento (Dp) e trincheira drenante.

A água superficial deve ser recolhida pelas canaletas, já a água no interior do talude, deve ser recolhida através de drenos. Os drenos de subsuperfície, devem drenar a água que se encontra logo atrás do paramento e os profundos, a água do interior do maciço, fazendo-a escoar para fora do mesmo (Dyminski, 2018).

No presente trabalho serão analisadas diferentes combinações dos dispositivos de drenagem citados.

2.2.1 Dispositivos de drenagem

São dadas as definições de acordo com o "Manual de Geotecnia do DER-SP" (Carvalho, 1991).

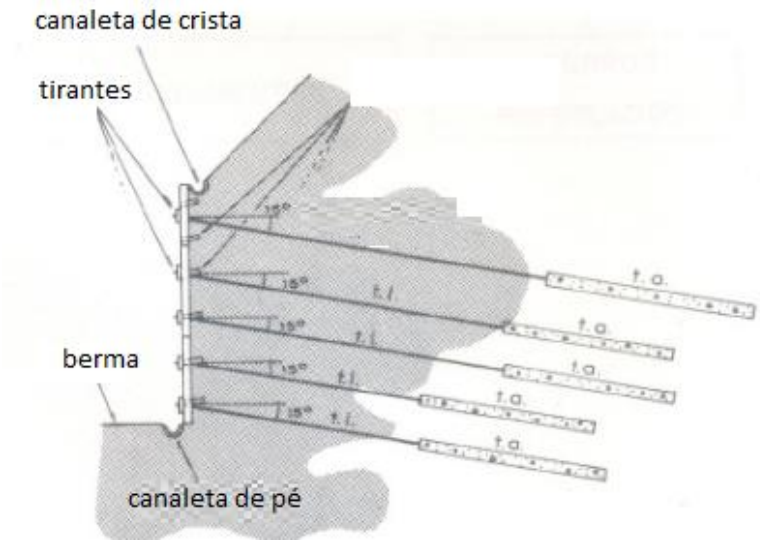
a. Canaletas

Canaletas de crista são canais construídos próximos à crista de um talude de corte, para interceptar o fluxo de água superficial proveniente do terreno a montante, evitando que este fluxo atinja a superfície do talude de corte, e consequentemente a erosão nesta superfície. Nos locais de descarga das canaletas devem ser tomadas precauções quanto à dissipação de energia, de forma a evitar que a água escoada provoque erosões, ou inicie processos de rupturas remontantes.

Canaletas de pé (ou base) são canais construídos no pé (ou base) dos taludes de corte, para coletar as águas superficiais provenientes da superfície destes taludes.

Estas canaletas (Figura 2.9) impedem que se iniciem processos erosivos junto ao pé dos taludes, que podem vir a descalçá-los e instabilizá-los.

Figura 2.9 Canaletas de drenagem (Matos, 2009)



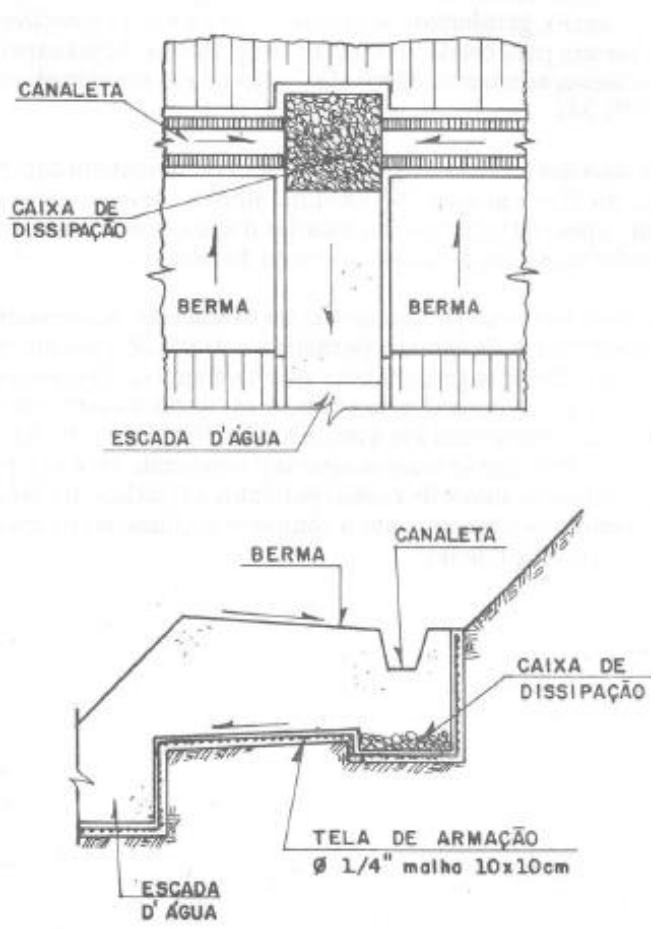
b. Descidas d’água

São canais construídos em forma de degraus, nos taludes de corte, geralmente segundo a linha de maior declive do talude. Possuem a função de coletar e conduzir as águas superficiais captadas pelas canaletas, sem que atinjam velocidades de escoamento elevadas.

As abas das escadas d’água devem ser executadas acompanhando o perfil do terreno, de forma a permitir a entrada de água em toda a sua extensão.

Nas extremidades das escadas d’água e canaletas de drenagem (Figura 2.10), são construídas caixas de concreto para a dissipação da energia hidráulica das águas coletadas, evitando, desta forma, velocidades elevadas de escoamento que podem provocar erosão do solo no ponto de lançamento da água, ou ás margens da canaleta, se houver extravasão, além de provocar desgaste acentuado do material de revestimento.

Figura 2.10 Detalhes da descida d'água e caixa de dissipação (Carvalho, 1991)

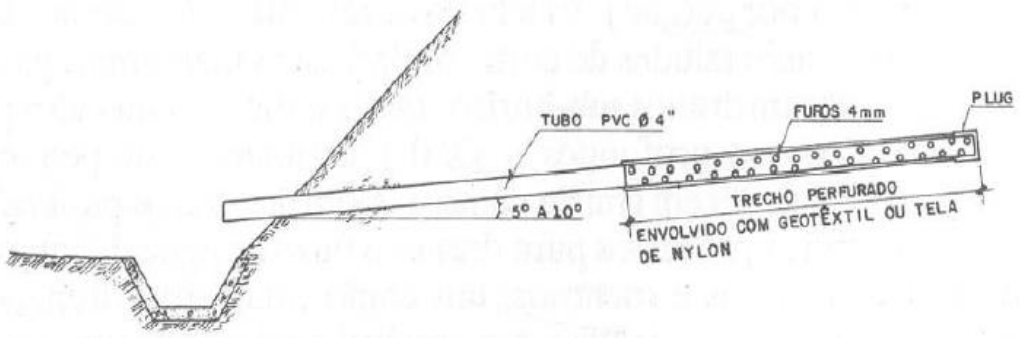


c. Drenos Sub-Horizontais Profundos (DHP)

São tubos de drenagem, com diâmetro entre 25 e 76mm, instalados em perfurações sub-horizontais, e têm por finalidade a captação de parte da água de percolação interna de aterros/cortes saturados. Também são utilizados na estabilização de massas de taludes, e como drenos auxiliares em obras de contenção.

Os tubos devem ter extremidade interna obturada e a extremidade externa livre (Figura 2.11) com pelo menos 1m para fora da superfície da estrutura de contenção. O trecho perfurado dos tubos deve ser envolvido com geotêxtil ou tela de nylon, que funciona como filtro, evitando o carregamento do solo.

Figura 2.11 Dreno sub-horizontais profundo (Carvalho, 1991)

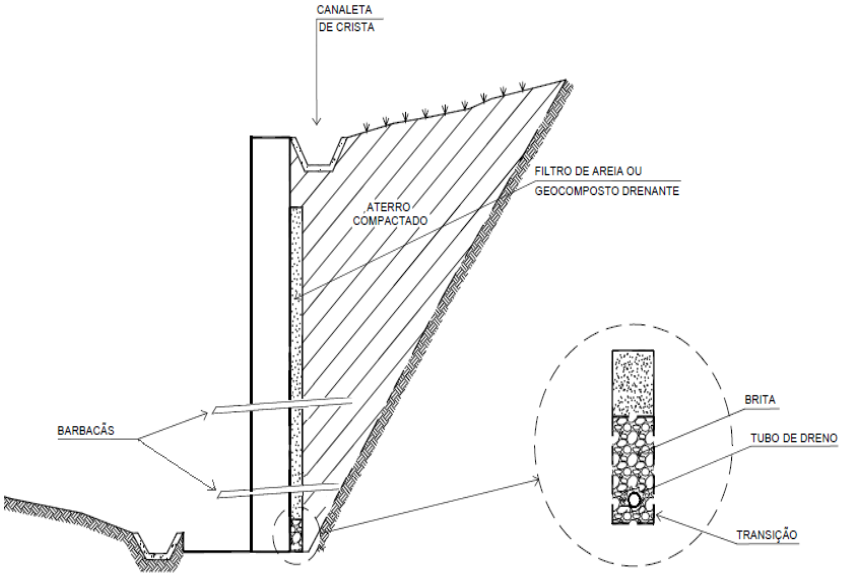


d. Trincheira Drenante

São drenos enterrados, utilizados tanto para captar água que percola pelo maciço de solo como para conduzir esta água até pontos de captação e/ou lançamento à superfície. São executadas com núcleo de brita ou cascalho envolto com areia (material de filtro) ou, crescentemente, com geotêxteis como elemento filtrante, que torna o processo construtivo mais rápido e eficiente.

Utilizam-se trincheiras drenantes (Figura 2.12) com frequência em trechos úmidos ou com surgência d'água. Nestes casos, as trincheiras captam a água percolada pelo maciço, evitando que ela aflore e escoe na superfície e, por conseguinte, impedindo a ocorrência de erosões ou de rupturas superficiais que, em caso contrário, costumam ocorrer.

Figura 2.12 Trincheira Drenante (Junior, 2010)



e. Drenos de Paramento

São peças que promovem um adequado fluxo às águas que chegam no paramento do talude. Usualmente tem-se os agulheiros (barbacãs) e o dreno de paramento (Teixeira, 2011).

Barbacãs (Figura 2.14) são tubos sub-horizontais curtos instalados em muros de concreto ou de pedra rejuntada, para coletar águas subterrâneas dos maciços situados a montante do muro, rebaixando o nível freático junto ao muro e reduzindo o desenvolvimento de poropressões nas paredes internas do muro. Podem também ser atualizados como saída de drenos existentes, atrás das estruturas de contenção.

O dreno de paramento (Figura 2.13) é o resultado da instalação numa escavação de calha plástica drenante revestida por manta geotêxtil, dreno fibroquímico, na direção vertical da crista até o pé do talude (Zirlis, 1999).

Figura 2.13 Dreno de paramento (Mikos, 2017)

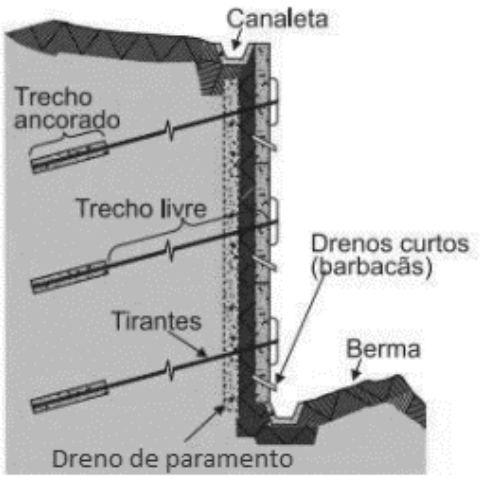
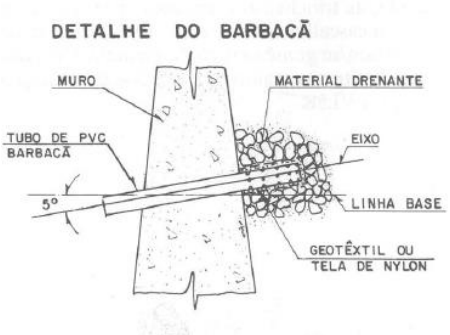


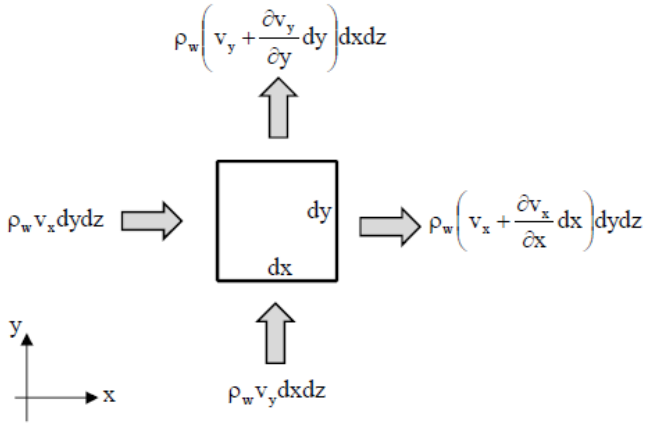
Figura 2.14 Detalhamento barbacãs (Carvalho, 1991)



2.3 Fluxo em Meio Poroso

Na engenharia geotécnica, um grande número de problemas de fluxo de água através de maciços de solo pode ser formulado e resolvido considerando-se apenas as condições hidráulicas e geotécnicas em uma única seção transversal. Nestes casos, as características do movimento de água podem ser estudadas no plano bidimensional (Huertas, 2006). Sendo assim, considere um elemento infinitesimal de solo submetido a um fluxo tal como indicado na Figura 2.15.

Figura 2.15 Elemento infinitesimal de solo submetido a um fluxo bidimensional (Cordeiro, 2012)



De acordo com o princípio da conservação da massa de água (M_w), e considerando o balanço de massa de água fluindo de dentro para fora elemento na unidade do tempo, pode-se chegar a seguinte equação da continuidade (Freeeze e Cherry apud Cordeiro, 2012):

$$q_{sai} - q_{entra} = -\frac{dM_w}{dt} \qquad (2.1)$$

Em que q_{sai} e q_{entra} representam, respectivamente, a quantidade de água em massa saindo e entrando do elemento infinitesimal na unidade do tempo.

Considerando que ρ_w é a massa específica da água e que v_x e v_y são, respectivamente, as velocidades de fluxo nas direções x e y pode-se reescrever a Equação 2.1 tal como:

$$\rho_w \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y}\right) dxdydz = -\frac{dM_w}{dt} \qquad (2.2)$$

A massa de água, por sua vez pode ser escrita em termos do de grau de saturação (S) e da porosidade (n), tal como (Craig e Das apud Cordeiro, 2012):

$$M_w = \rho_w S n dx dy \qquad (2.3)$$

Desta forma, a Equação (2.2) pode ser reescrita como:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{d(nS)}{dt} \qquad (2.4)$$

Considerando o fluxo num meio inderfomável (ou, seja com porosidade constante) e em condição de saturação completa (S=100%),, tem-se:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \qquad (2.5)$$

De acordo com a lei de Darcy é possível escrever:

$$v_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \qquad (2.6)$$

$$v_y = -k_y \frac{\partial h}{\partial y} \qquad (2.7)$$

Em que h é a carga hidráulica total definida como a soma da carga hidráulica de pressão (h_p) com a carga hidráulica de elevação (h_e); e, k_x e k_y representam os coeficientes de permeabilidade nas direções x e y, respectivamente. Para meios porosos isotrópicos, em que kx = ky = k, a equação transforma-se na Equação de Laplace:

$$\nabla^2 h = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \qquad (2.8)$$

2.4 O Método dos Elementos Finitos

O método dos elementos finitos (MEF) é atualmente a técnica mais popular e versátil para análise de problemas de fluxo permanente ou transiente, bi ou tri dimensionais. Incorpora a existência de vários materiais com diferentes coeficientes

de permeabilidade, impõe condições de contorno complexas, acopla o problema hidráulico com o problema de análise de tensões, dentre outras condições que podem ser incorporadas ao problema (Huertas, 2006).

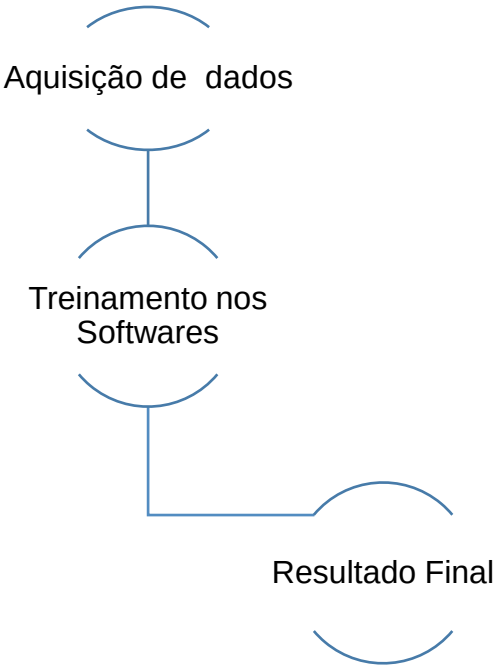
A ideia básica do MEF consiste em dividir o domínio do problema (meio continuo) em pequenos subdomínios (elementos finitos). Neste subdomínio, aplica-se uma aproximação para variável do problema (carga hidráulica total) e reescreve-se as equações de governo no domínio de cada elemento finito. Assim, obtém-se as matrizes de fluxo de cada elemento que são agrupadas num arranjo global. Após aplicar-se as condições de contorno o sistema de equação algébrica é resolvido (Rojas, 2014).

No caso de fluxo em meio poroso saturado a variável primária é a carga hidráulica total as quais são obtidas nos pontos nodais. As variáveis secundárias: gradientes hidráulico e velocidade de fluxo são avaliados em cada elemento.

3 METODOLOGIA

Para a análise dos sistemas de drenagem realizadas nesse trabalho utilizou-se os softwares SEEP/W e SLOPE/W. Através do SEEP/W foi feita a análise de fluxo no maciço (em condição saturada) e através do SLOPE/W realizou-se a análise de estabilidade. Segue abaixo o fluxograma (Figura 3.1) com as etapas de realização:

Figura 3.1 Fluxograma de Execução do Presente Trabalho



Na primeira fase, a aquisição de dados, será definido o problema a ser estudado e serão fornecidos os dados sobre a cortina e o terreno a serem explorados no presente trabalho. A parti daí serão extraídos os parâmetros necessários para utilização dos softwares, ou seja, os dados de "*input*".

Com os dados de entrada definidos, passamos para a segunda fase, o treinamento nos softwares. Nesta etapa, testaremos nos softwares os diferentes sistemas de drenagem que são objeto de estudo que serão definidos nas próximas seções.

Por fim, obteremos um resultado final, que será analisado e levará a conclusão, a ser apresentada como capítulo final deste trabalho.

4 Desenvolvimento das análises de fluxo e de estabilidade

4.1 Parâmetros geométricos e geotécnicos

Antes de realizar as análises de fluxo e estabilidade propriamente ditas definiu-se primeiramente os parâmetros geométricos e geotécnicos da cortina atirantada. Todos os parâmetros são hipotéticos, com embasamento em condições usuais de projeto e em dissertações já apresentadas na UFOP (Mendes, 2010 e Da Silva, 2016).

A superfície do terreno foi considerada horizontal, sendo o perfil do subsolo constituído por dois materiais. Um mais superficial, onde foi feita a escavação, denominado de Solo 1 e outro mais profundo denominado Solo 2. A aplicação de 2 tipos de solos diferentes em profundidades diferentes, teve como objetivo uma representação mais próxima das condições reais. Ambos materiais são considerados homogêneos e isotrópicos, para os fins deste trabalho. Os dados geotécnicos dos solos apresentados a seguir, na Tabela 4.1, foram retirados da literatura (Lacerda *et al.*, 2007).

Tabela 4.1 Parâmetros do solo

	Peso Específico (kN/m³)	**Coesão Efetiva (kPa)**	**Φ**	**k (m/seg)**
Solo 1	22,2	0	26°	6,8E-06
Solo 2	19,2	21	26,5°	4,1E-09

k - Permeabilidade Hidráulica em Condição Saturada

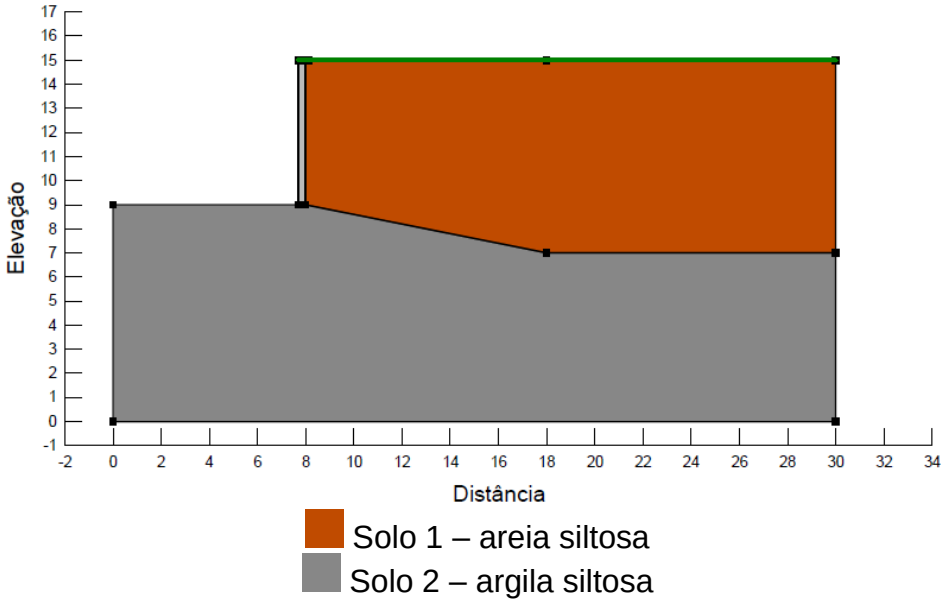
Lacerda et al., 2007 retiraram amostras de solo da barragem da UHE Jauru e realizaram ensaios para determinação dos parâmetros geotécnicos dos solos que compõem o corpo da mesma. No presente trabalho utilizamos o solo do núcleo da barragem (Solo 2) para representar o solo de fundação do maciço estudado e o solo sobre o espaldar da barragem (Solo 1) para representar o solo de reaterro.

De acordo com o Sistema Unificado De Classificação Dos Solos (Casagrande *apud* Almeida, 2005), o Solo 1 pode ser definido como uma areia siltosa e o Solo 2 como uma argila siltosa.

A estrutura de contenção simulada é caracterizada pelo corte vertical do terreno (solo de reaterro), atingindo 6 metros de altura. A cortina não possui ficha de fundação, é de concreto armado (30 cm de espessura) e o processo executivo adotado foi de escavação e posteriormente a execução do tirante e do paramento (Da Silva, 2016). A Figura 4.2 mostra a representação do terreno após o corte e com a cortina de concreto. Foi adotado um concreto de F_{ck} = 25MPa equivalendo a um Módulo de Elasticidade Inicial de 28 GPa e peso específico 25,00 kN/m³. O Módulo de Elasticidade Inicial foi calculado a partir das correlações empíricas da NBR 6118/2014 (Equação 4.1):

$$E_{ci} = 5600\sqrt{f_{ck}} \qquad (4.1)$$

Figura 4.1 Terreno Após Corte com Parede de Concreto no Software Slope/W - GeoStudio



A cortina é ancorada por duas linhas de tirante de aço, com espaçamento horizontal de 2,0 m. Os parâmetros de dimensionamento do tirante foram estimados com base nos parâmetros adotados por MENDES (2010). Fazendo um pré dimensionamento com o SLOPE/W, no qual foram testados diferentes comprimentos de tirante, chegou-se ao comprimento livre de 4m e comprimento ancorado de 4m. Os outros parâmetros foram calculados através do método proposto por PORTO (2015), composto pelas Equações 4.2, 4.3 e 4.4.

$$T_L = \pi\, D_S\, L_b\, q_S \qquad (4.2)$$

$$D_S = \beta\, D_P \qquad (4.3)$$

$$q_S = 10k\left(\frac{N_{SPT}}{3} + 1\right) \qquad (4.4)$$

Em que T_L é a capacidade de carga do bulbo (kN); D_S é o diâmetro médio do bulbo (m); L_b é o comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m); q_S é a resistência ao cisalhamento (kN/m²); D_P é o diâmetro perfurado do furo (m); β é o coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção; *k* é o coeficiente de ancoragem (kN/m²). Os valores de β e *k* são encontrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Correlação valores de β e *k*

Solo Predominante	**β**	Valores de K (kN/m²)	
		Valor com 80% de confiança	Valor mais provável
Argila siltosa	2,1	1,2 a 1,29	1,25
Argila arenosa	2,1	0,9 a 1,01	0,95
Silte argiloso	1,97	2,37 a 2,77	2,57
Silte	2,11	2,04 a 2,28	2,16
Silte arenoso	2,25	1,7 a 1,78	1,74
Areia argilosa	2,2	2,57 a 2,77	2,67
Areia siltosa	*2,2*	*2,10 a 2,37*	*2,24*

Na ausência do boletim de sondagem dos solos, a resistência ao cisalhamento foi estimada a partir de N_{SPT} empíricos, baseados na tabela de Terzaghi-Peck (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 Relação entre SPT e Consistência do Solo por Terzaghi-Peck

Relação entre SPT e Consistência do Solo		
Tipo de Solo	**Consistência**	**SPT**
Argila	Muito Mole	< 2
	Mole	2 a 4
	Média	5 a 8
	Rija	9 a 15
	Muito Rija	16 a 30
	Dura	> 30
Areia	Fofa	<= 4
	Pouco Compacta	5 a 10
	Medianamente Compacta	*11 a 30*
	Compacta	31 a 50
	Muito Compacta	> 50

As análises foram realizadas priorizando a segurança, com o diâmetro do furo do tirante (D_P) igual a quatro polegadas (4”) ou 101,6 mm e diâmetro das barras 40mm

(Geofund, 2018). Na Tabela 4.4 encontramos os parâmetros dos tirantes, para o cálculo dos mesmos, adotando N_{SPT} Solo 1(areia siltosa) = 13.

Figura 4.2 Propriedades das barras de aço

Propriedades dos Sistemas DYWIDAG

Ø Nominal	Tensão de Escoamento [Kgf/mm² [MPa]]	Tensão de Ruptura [Kgf/mm² [MPa]]	Carga de Escoamento [tf]	Carga de Ruptura [tf]	Passo [mm]	Área da Seção Transversal[a] [mm²]	Peso[b] [Kg/m]
DW 15 mm	90 [900]	110 [1.100]	16	19	10	177	1,41
DW 32 mm	95 [950]	105 [1.050]	76	84	16	804	6,31
DW 36 mm	95 [950]	105 [1.050]	97	107	18	1.018	8,27
DW 40 mm* NOVO!	95 [950]	105 [1.050]	119	132	20	1.257	10,21
DW 47 mm	95 [950]	105 [1.050]	165	182	21	1.735	14,10

a) área calculada
b) peso teórico nominal

Módulo de Elasticidade: E = 20.500 Kgf/mm² +/- 5%

Tabela 4.4 – Parâmetros dos Tirantes

Diâmetro perfurado do furo (D_P)	**0,1016 m**
Inclinação do Tirante (α)	15°
Módulo de Elasticidade do Tirante (E)	210 GPa
Diâmetro do Bulbo (D_S)	**0,2235 m**
Módulo de Elasticidade do bulbo (E)	28 GPa
Comprimento do Trecho Livre (L_L)	4 m
β	2,20
K	2,24 kN/m²
Comprimento do Trecho Ancorado (L_B)	4 m
Resitência ao arrancamento (q_S)	119,5 kN/m²
Capacidade de carga do bulbo (T_L)	**335,56 kN**

Considerou-se o fator de segurança mínimo igual a 1,5, adotando o grau de segurança da obra como alto, de acordo com a NBR11682.

Tabela 4.5 - Tabela acréscimo de segurança X grau de segurança da obra (NBR 11682)

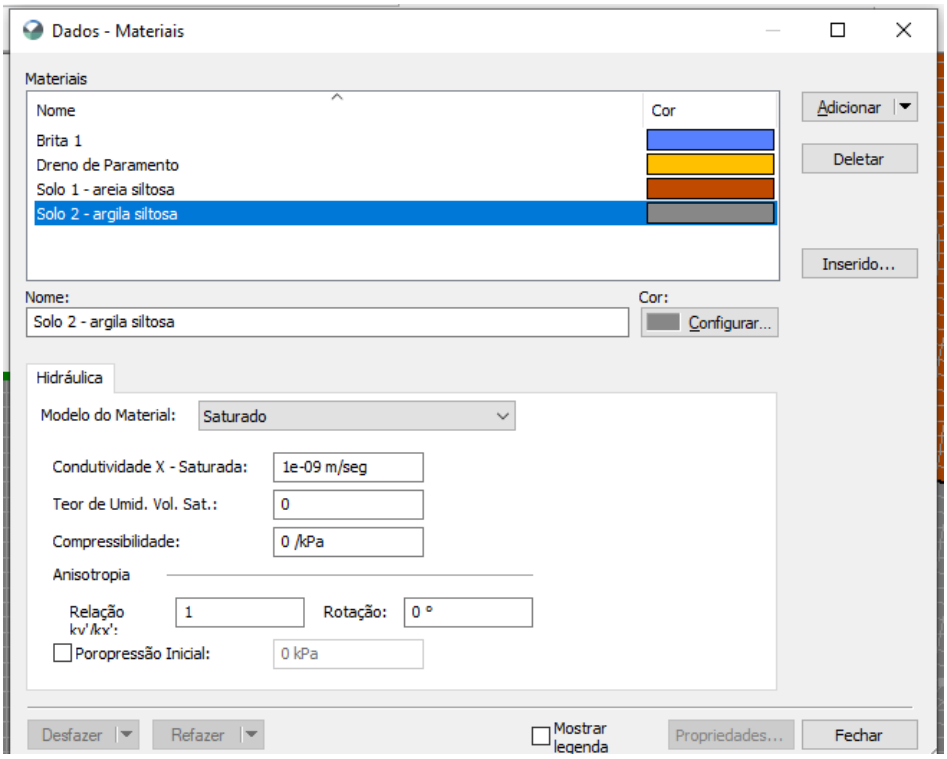
NBR 11682/1991 15

Tabela 6 - Modelos matemáticos

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio-limite	Métodos baseados na análise tensão-deformação
	acréscimo mínimo de segurança	deslocamento máximo
alto	50%	a ser justificado em cada caso
médio	30%	
baixo	15%	

Realizou-se primeiramente a análise de fluxo usando o SEEP/W e então a análise de estabilidade usando o SLOPE/W. Cada um dos softwares exigem diferentes variáveis e condições de contorno.

Figura 4.3 Variáveis requeridas SEEP/W



As variáveis requeridas pelo SEEP/W (Figura 4.2) são: a permeabilidade hidráulica na condição saturada, o teor de umidade volumétrico na condição saturada, a relação ky/kx e o ângulo de rotação dos eixos principais de condutividade hidráulica. Como condição de contorno o software pede as cargas hidráulicas e/ou poropressões nos pontos e/ou regiões. É necessário também que se defina a condição do solo: completamente saturado ou parcialmente saturado. Consideraremos neste trabalho que os solos são isotrópicos, ou seja, a permeabilidade não varia com a direção, logo a relação ky/kx = 1. Além disso é premissa do presente trabalho que os eixos principais de condutividade hidráulica são os eixos verticais e horizontais, i.e., o ângulo de rotação dos eixos é igual a 0. Como os materiais serão admitidos como sendo isotrópicos, a condutividade principal maior será igual, em intensidade, à condutividade principal menor.

Como o material é admitido como sendo sempre saturado, a informação de teor de umidade volumétrico e compressibilidade não são relevantes para os cálculos do programa, uma vez que a condutividade hidráulica não varia com a sucção. Essas janelas de input aparecem para fins de acoplamento com outros softwares, que podem precisar dessas informações.

Figura 4.4 Condição anisotrópica, quando a permeabilidade varia com a direção e a relação ky/kx é diferente de 1.

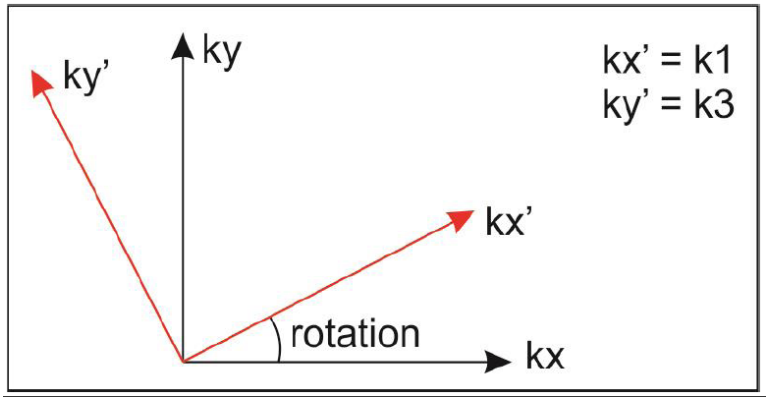
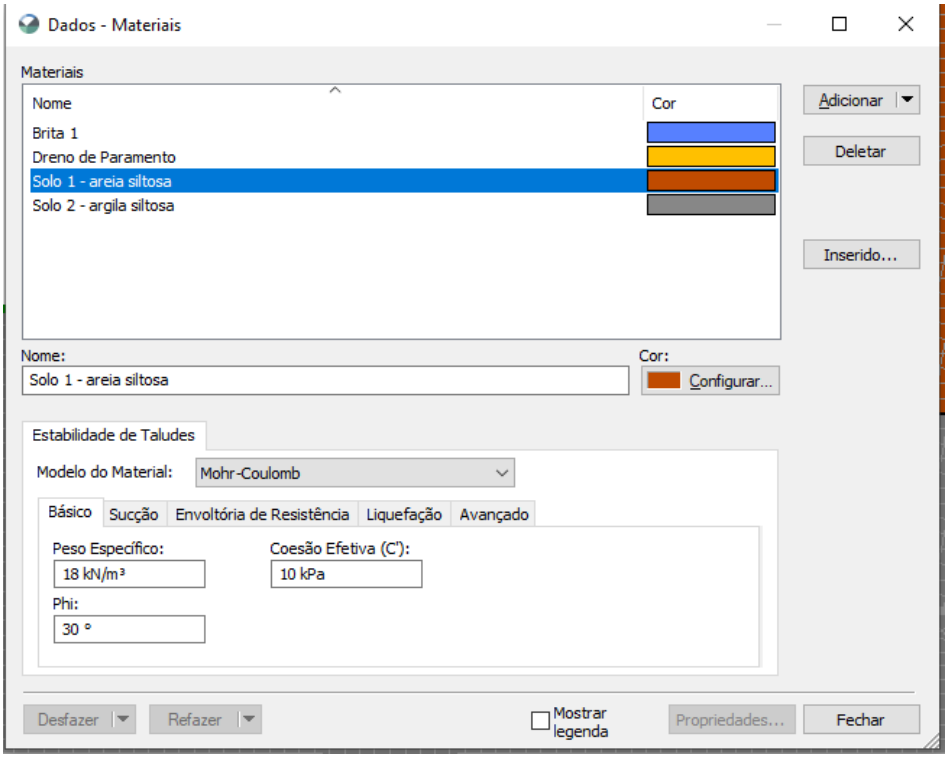


Figura 4.5 Variáveis requeridas SLOPE/W



No SLOPE/W foi adotado o critério de resistência de Mohr-Coulomb. Sendo assim, os parâmetros necessários parra a análise são (Figura 4.4): peso específico (γ), coesão efetiva (c') e ângulo de atrito efetivo (ϕ'). Após a escolha do critério e determinação dos parâmetros, devemos selecionar um intervalo de busca na superfície do talude. Esse intervalo determina onde ocorrerá a busca pela superfície de ruptura crítica.

Há sempre a opção de refinar ou expandir a malha em busca de melhores resultados, isso pode ser feito em todo o modelo ou apenas em determinadas regiões, de acordo com o objetivo da análise.

5 Aplicação do SEEP/W e SLOPE/W

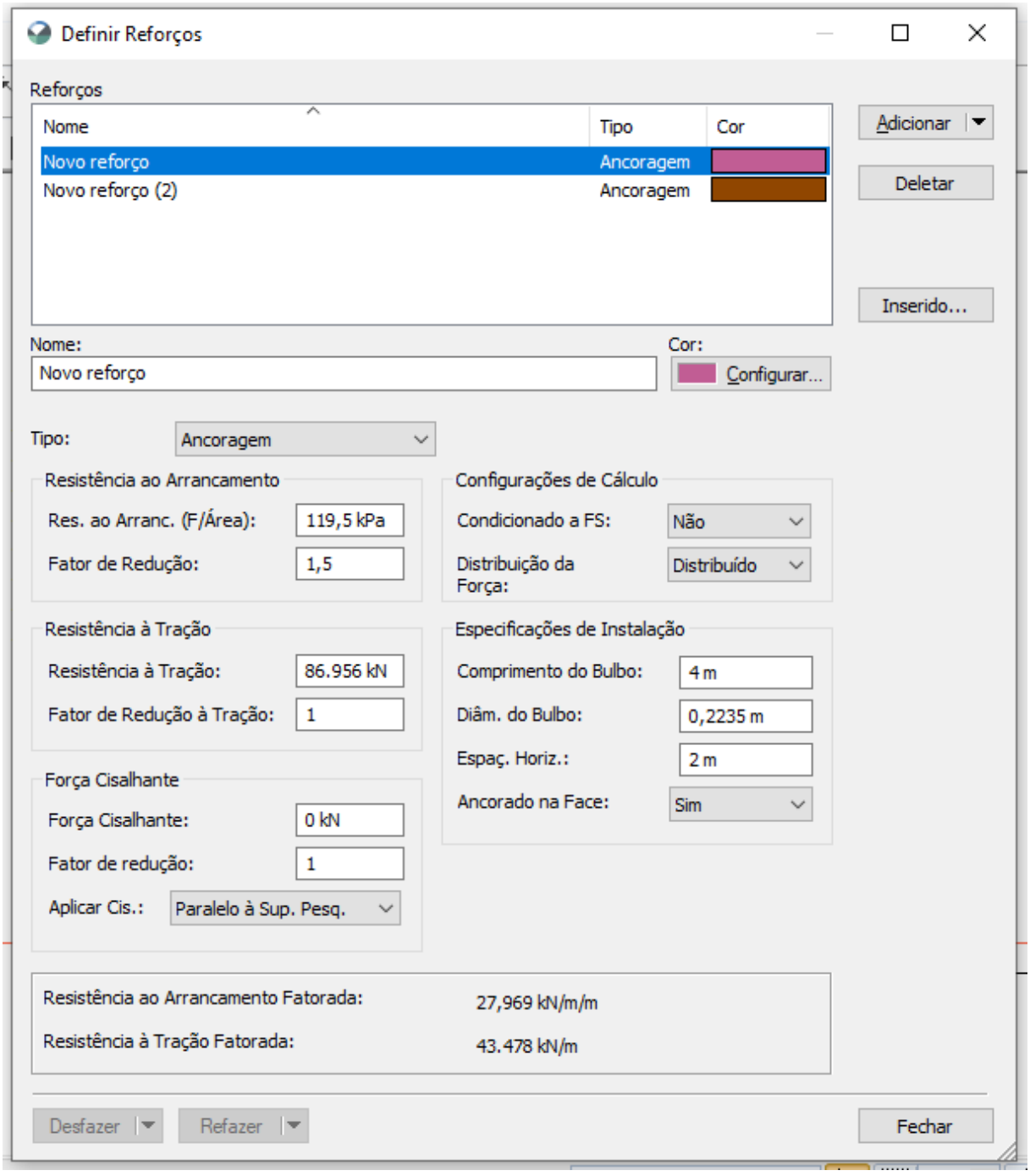
Neste item são apresentados os resultados das análises de fluxo (SEEP/W) e estabilidade (SLOPE/W) na cortina atirantada considerando 3 cenários tal como ilustrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Resumo dos cenários analisados

Cenário	Trincheira Drenante	Dreno de Paramento	Dreno Horizontal Profundo	Análise com Dp = 101,6 mm
1	Sim	Não	Não	Sim
2	Sim	Sim	Não	Sim
3	Sim	Sim	Sim	Sim

No primeiro cenário considerou-se apenas um dispositivo de drenagem: uma trincheira drenante. No cenário 2, dois dispositvos de drenagem foram adotados: trincheira drenante e dreno de paramento. No cenário 3 foram adotados três dispositivos: trincheira drenante, dreno de paramento e drenos horizontais profundos. Todos os cenários foram analisados adotando o diâmetro de furo do tirante (Dp) de 101,6mm (4”). A Figura 5.1 ilustra os dados dos tirantes inseridos no SLOPE/W .

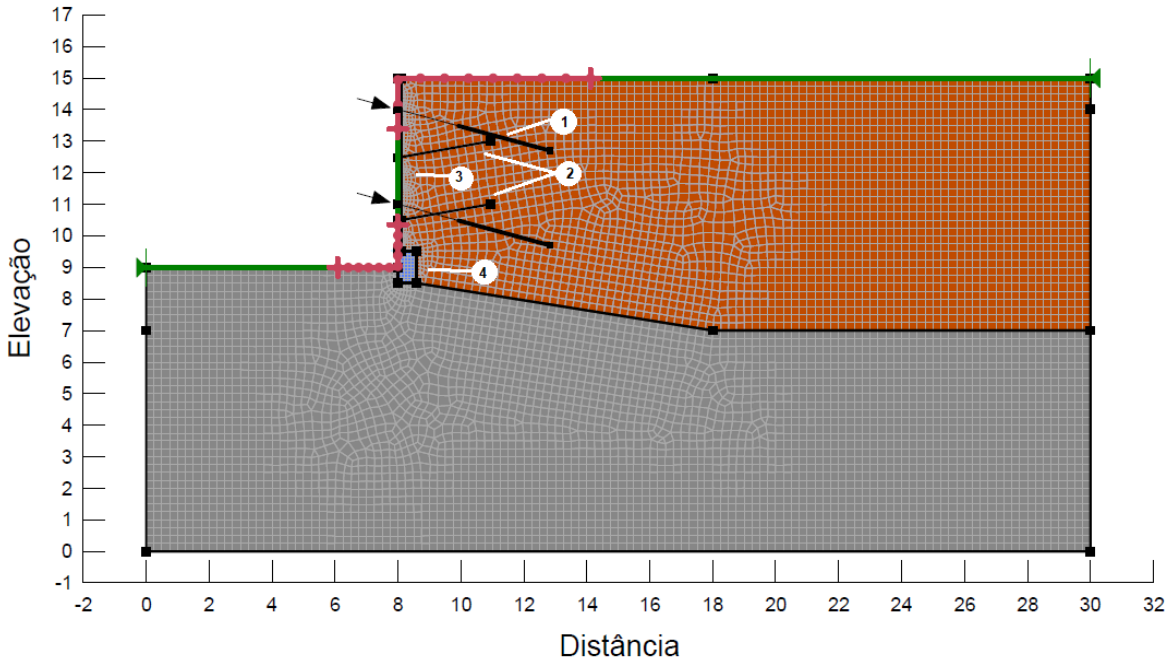
Figura 5.1 Dados dos tirantes usados no SLOPE/W para um D_P=101,6mm



A Figura 5.2 apresenta a malha de elementos finitos não estruturada gerada automaicamente pelo programa SEEP/W considerando uma discretização de 0,25m. Quatro diferentes tipos de materais foram adotados nas análise representando os materias que constituem a fundação (Solo 2), o reaterro (Solo 1), a trincheira drenante e, o dreno de paramento. Na modelagem final (Figura 5.2) já estão instalados:

1- Tirantes;
2- Dreno horizontal profundo;
3- Dreno de paramento;
4- Trincheira drenante.

Figura 5.2 Modelagem Final



A trincheira drenante foi executada em Brita 1 e o dreno de paramento com areia grossa cujos parâmetros empíricos são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Parâmetros dos constituintes da trincheira drenante e do dreno de paramento

Dispositivo de Drenagem	**Material**	**Permeabilidade Hidráulica em Condição Saturada (m/seg)**	**Relação ky'/kx**	**Rotação**	**Peso Específico (kN/m³)**	**Coesão Efetiva (kPa)**	**Φ**
Dreno de Paramento	Areia Grossa	0,001	1	0°	19	0	32°
Trincheira Drenante	Brita 1	0,004	1	0°	20	0	34°

Como o fluxo de água na parede de concreto é desprezível, não é necessário que esse material seja representado no software. Os barbacãs estão acoplados aos drenos horizontais profundos (DHP).

Para todas as análises foram consideradas as mesmas cargas de montante, 15 mca, e de jusante, 9 mca.

5.1 Cenário 1: Trincheira Drenante

Nesta análise utilizou-se apenas a trincheira drenante como dispositivo de drenagem, a mesma tem 1m de altura (0,5m abaixo do nível do terreno, 0,5m acima do nível do terrreno, atrás da cortina) e 0,6m de espessura. Foi adota à trincheira drenante uma condição de contorno do tipo *drainage,* do programa SEEP/W. Essa condição faz com que o fluxo de água tangencie a fronteira onde a condição de contorno é aplicada.

Figura 5.3 Fluxo no maciço no Cenário1

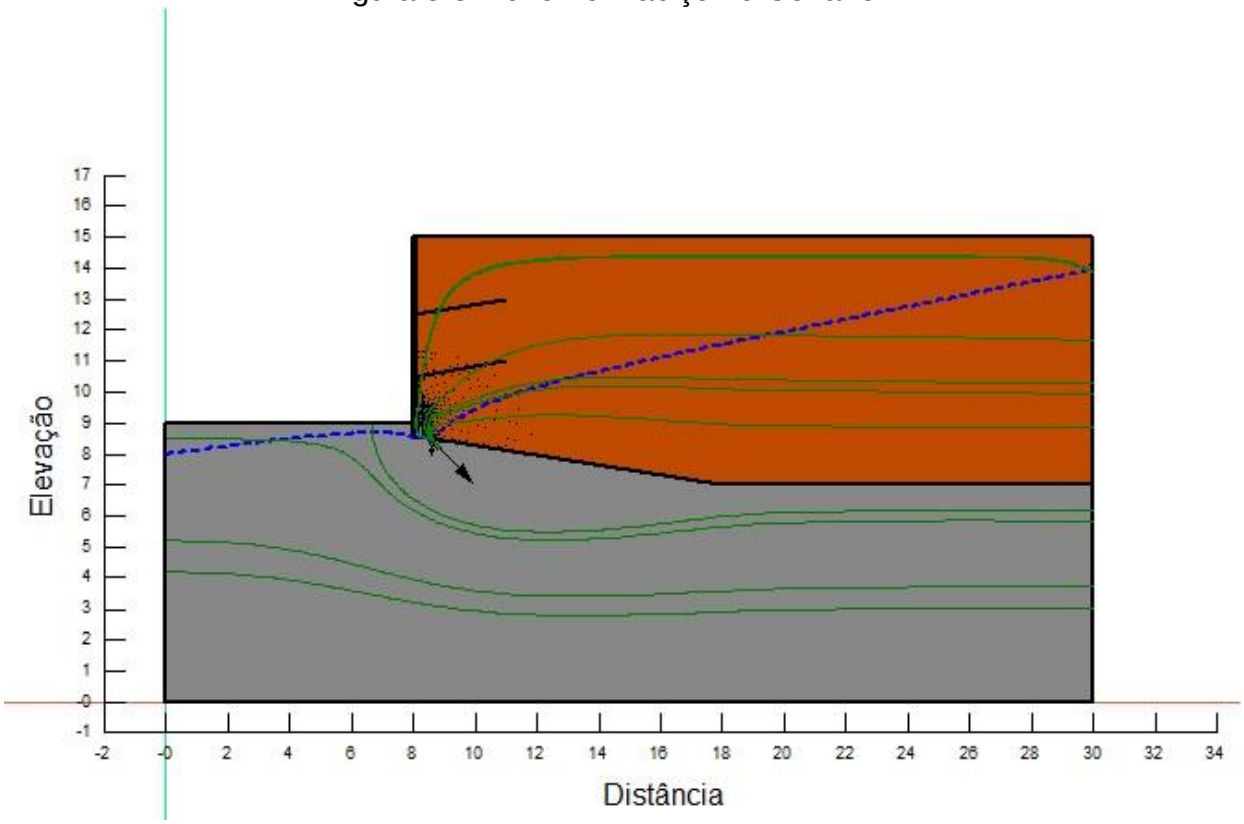
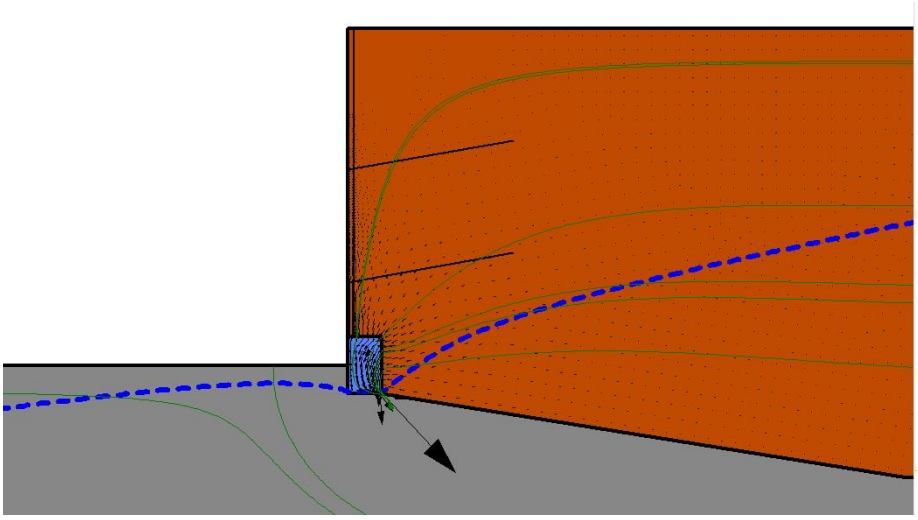
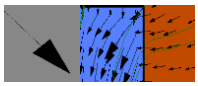


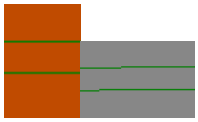
Figura 5.4 Detalhes do fluxo no Cenário 1





- Vetores de Fluxo

- Linha Piezométrica



- Linhas de Fluxo

Figura 5.5 Distribuição das poropressões no Cenário 1

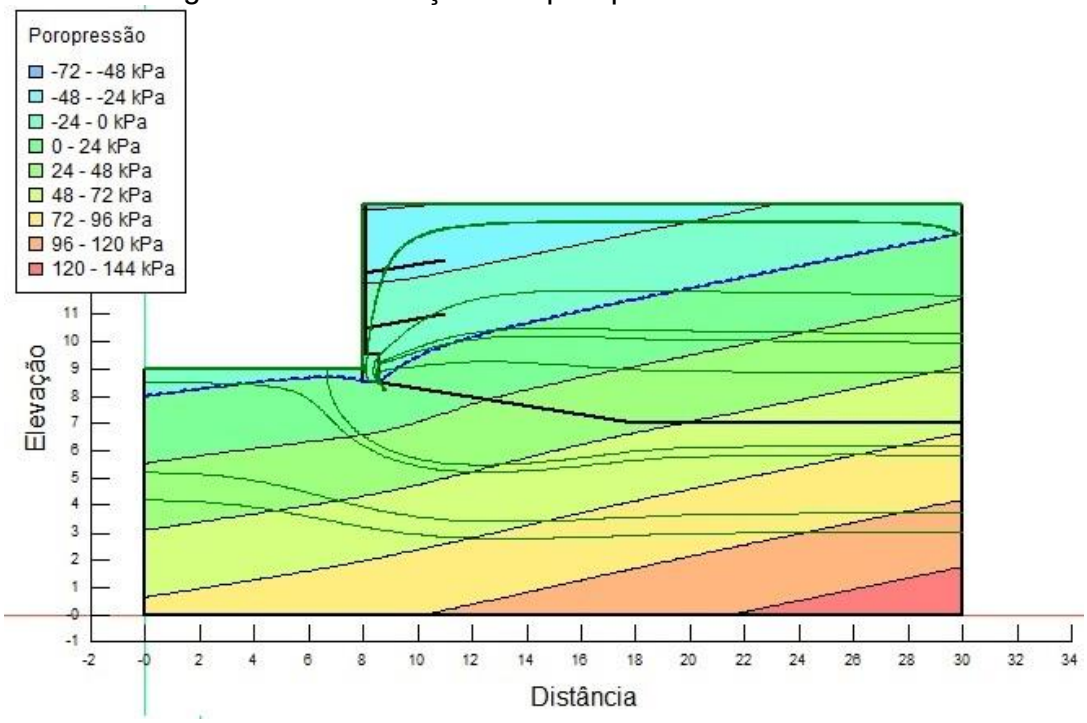
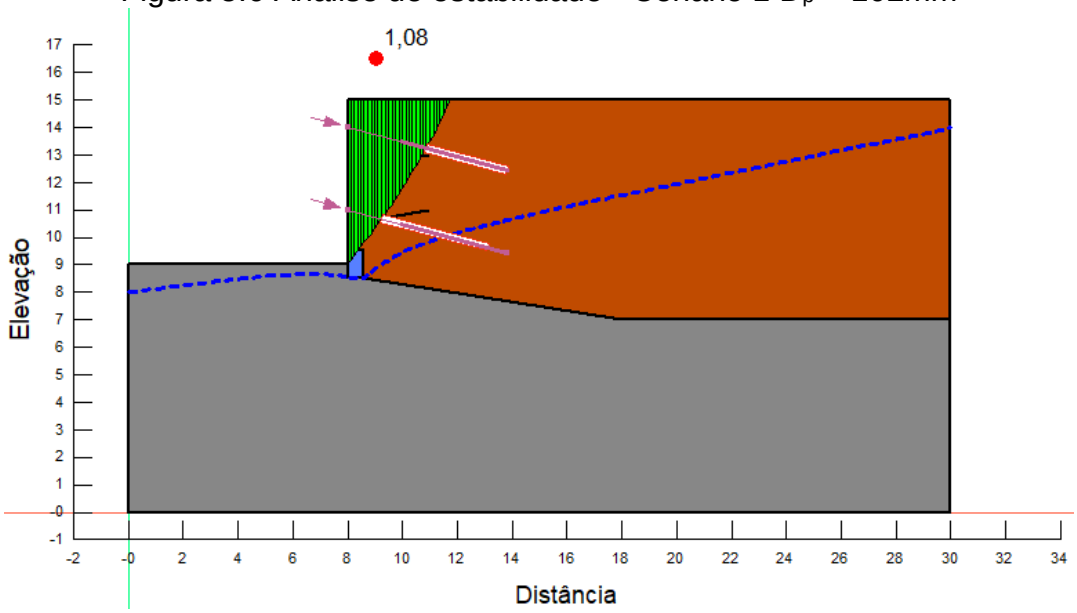


Figura 5.6 Análise de estabilidade - Cenário 1 D_p = 102mm



- Cunha de ruptura com o menor fator de segurança;

- Linha branca – Superfície de Ruptura Crítica

- Centro de rotação da superfície de ruptura crítica

1,08 - Fator de Segurança

5.2 Cenário 2: Trincheira Drenante com Dreno de Paramento

Nessa análise adicionou-se o dreno de paramento. O mesmo foi constituido de areia grossa, e possui a mesma altura da cortina de concreto (6m), se estendendo por toda ela com espessura de 10 cm. Foi aplicada a condição de contorno *drainage* dispoível no programa SEEP/W a ambos os materiais: trincheira drenante e dreno de paramento. As soluções das análises estão representadas nas Figuras 5.7 a 5.9.

Figura 5.7 Fluxo no maciço no Cenário 2

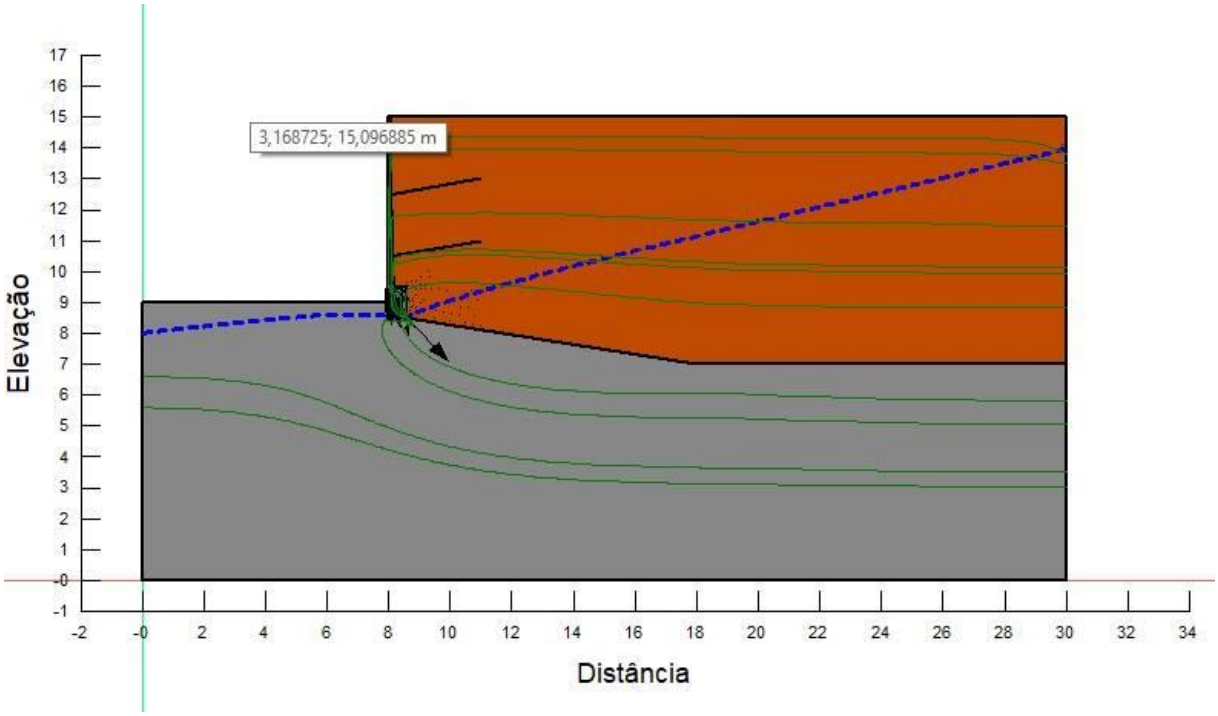


Figura 5.8 Distribuição das poropressões no Cenário 2

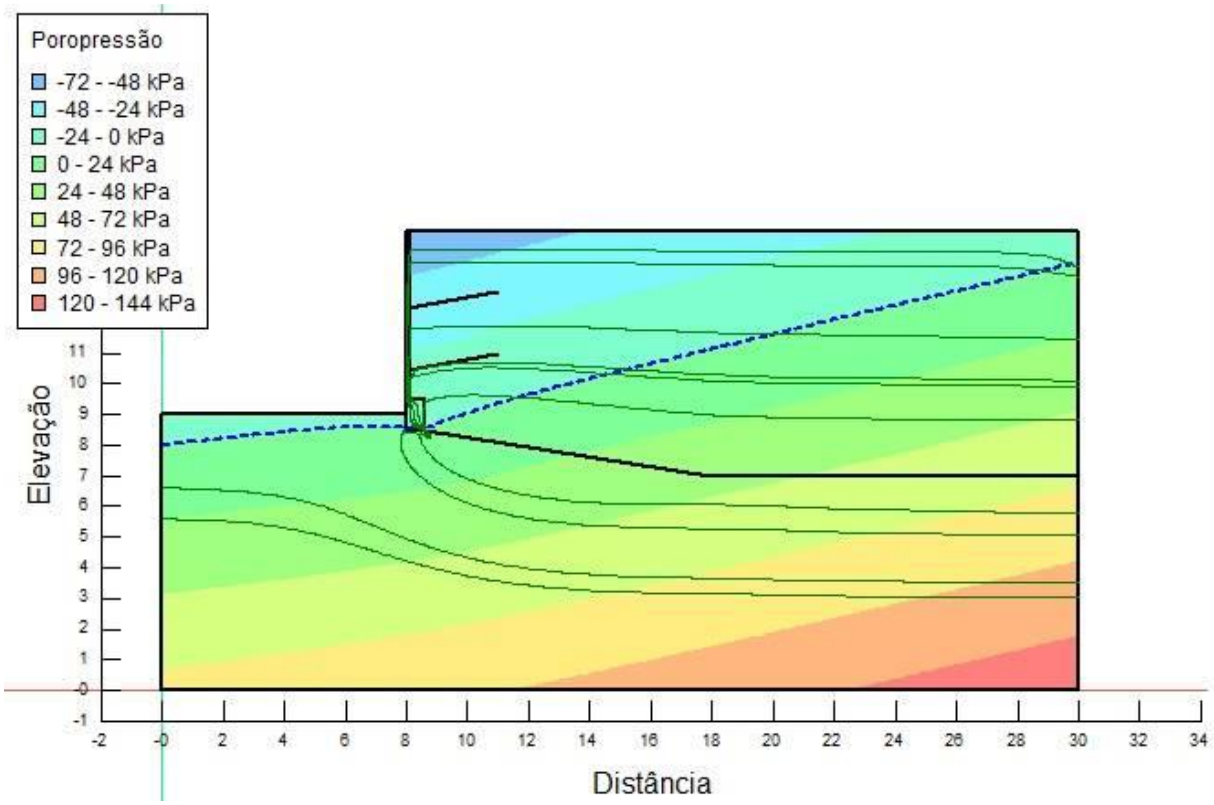
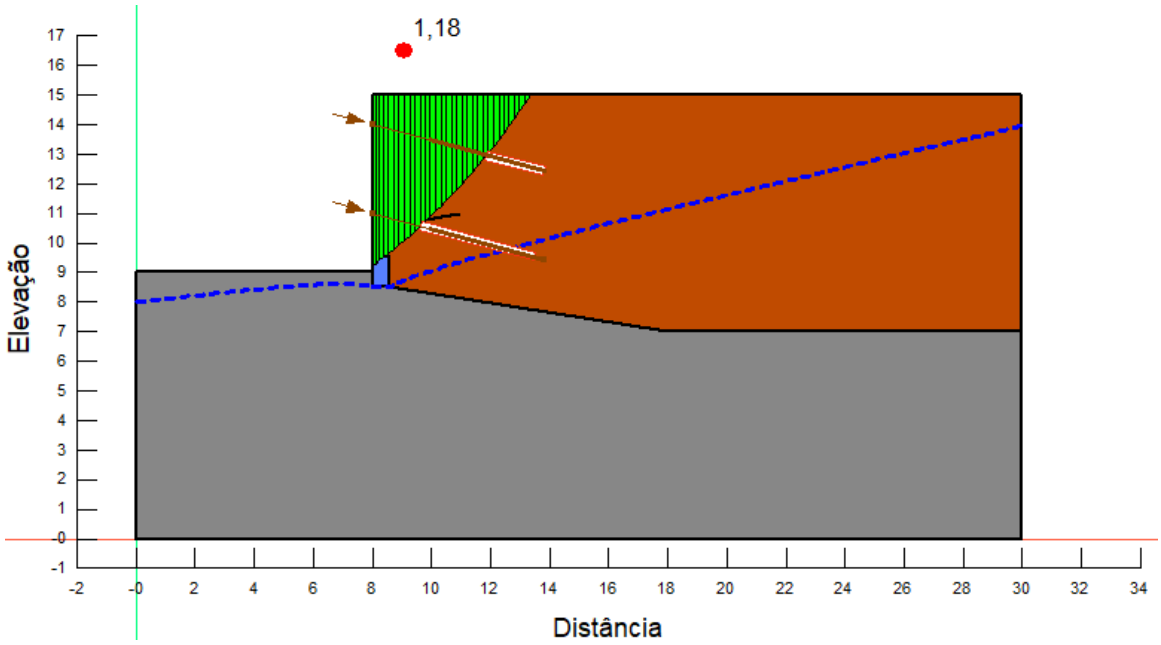


Figura 5.9 Análise de estabilidade - Cenário 2 - D_p = 102mm



5.3 Cenário 3: Trincheira Drenante com Dreno de Paramento e Dreno Horizontal Profundo

Nesta análise o sistema de drenagem interna está completo: trincheira drenante, dreno de parmento e drenos horizontais profundos com inclinação de 10º. Como condição de contorno, aplicamos as mesmas condições do cenário 2 acrescidas do dreno de paramento, em que aplicamos a condição *zero pressure*. Os resultados das análises estão representados nas Figuras 5.10 a 5.12.Figura

5.10 Fluxo no maciço no Cenário 3

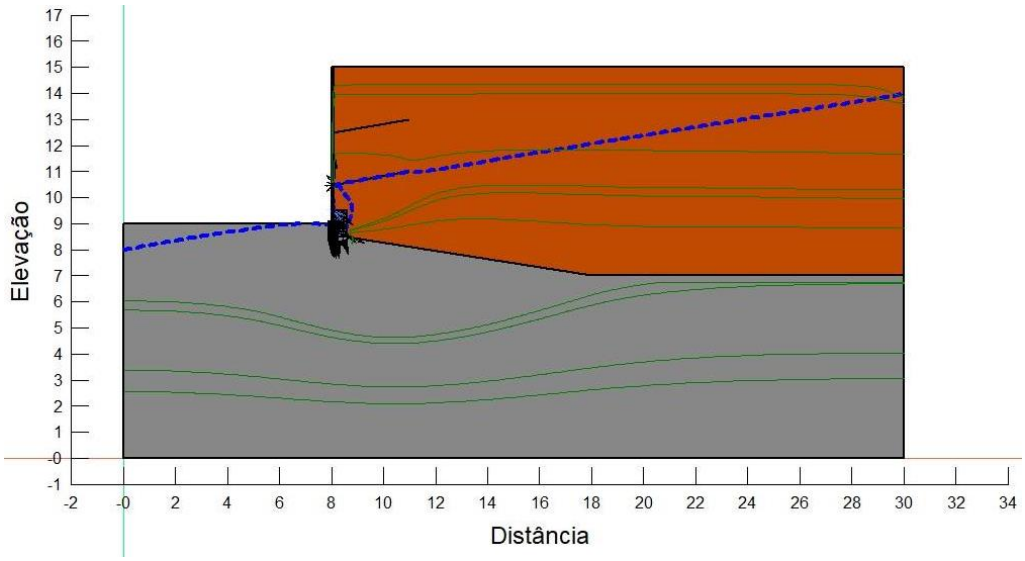


Figura 5.11 Distribuição das poropressões no Cenário 3

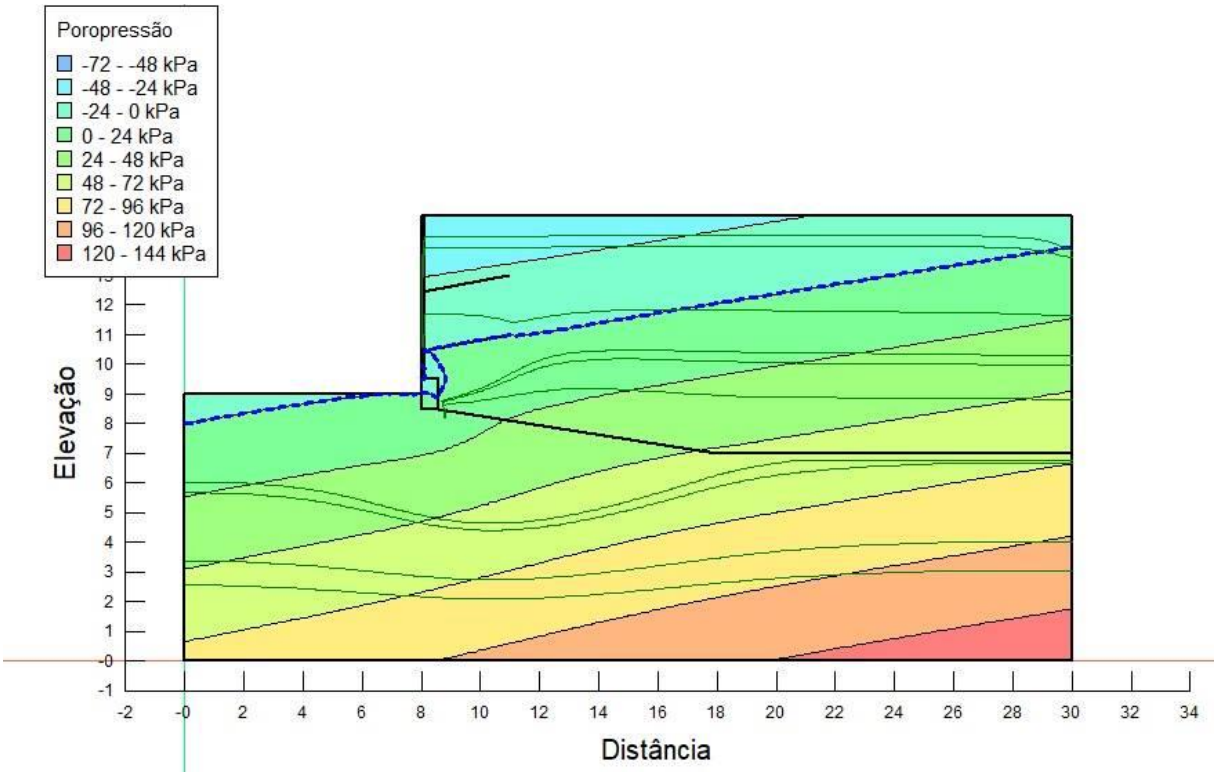
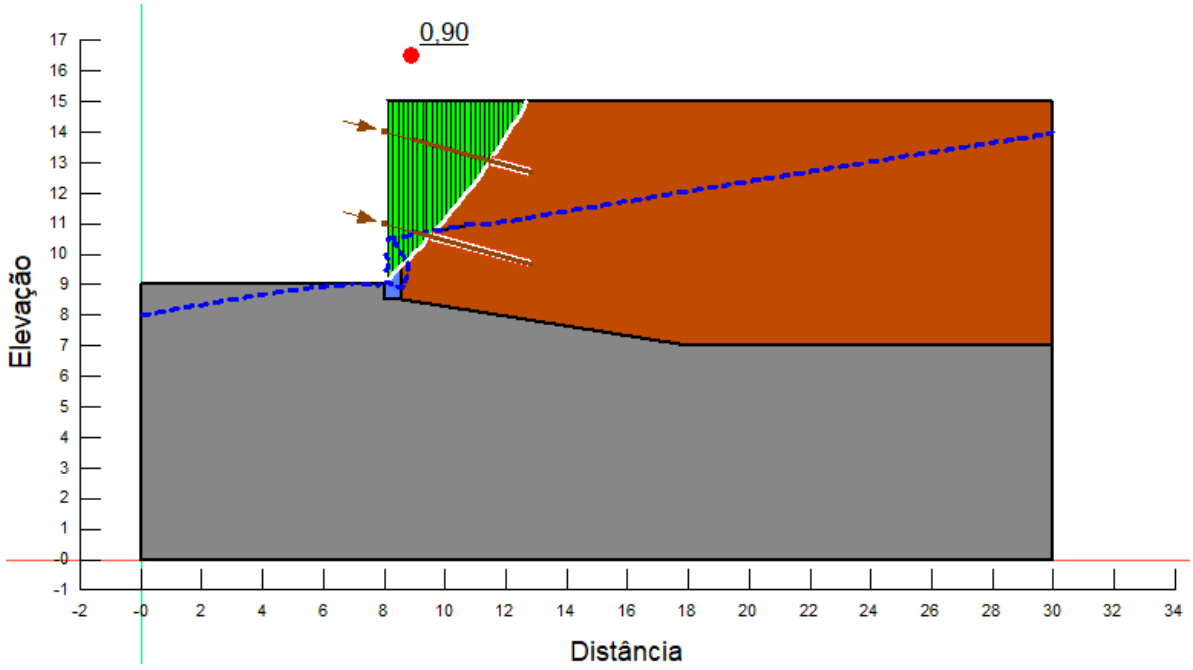


Figura 5.12 Análise de estabilidade - Cenário 3 - D_p = 102mm



6 Resultados

Diante das análises realizadas, os resultados foram divergentes dos esperados. Um sistema de drenagem ineficiente ou incompleto afeta negativamente a estabilidade de estruturas de contenção, o que não foi observado. Nas análises realizadas, observou-se a variação do fator de segurança, que ao contrário do esperado, diminuiu (Cenário 2 para Cenário 3) ou se manteve constante (Cenário 1 para Cenário 2) conforme aumentamos os dispositivos de drenagem, o que é incoerente com a realidade. Além disso, observamos também, erros na linha piezométrica (Figura 6.1), conforme figuras abaixo.

Como em qualquer software que usa MET, esses erros ocorrem devido a problemas de convergência, pois, a variação na permeabilidade é muito alta. Para obtermos melhores resultados, uma análise de fluxo em regime não permanente deveria ser realizada.

Figura 6.1 Linha Piezométrica Cenário 3 - Poropressões

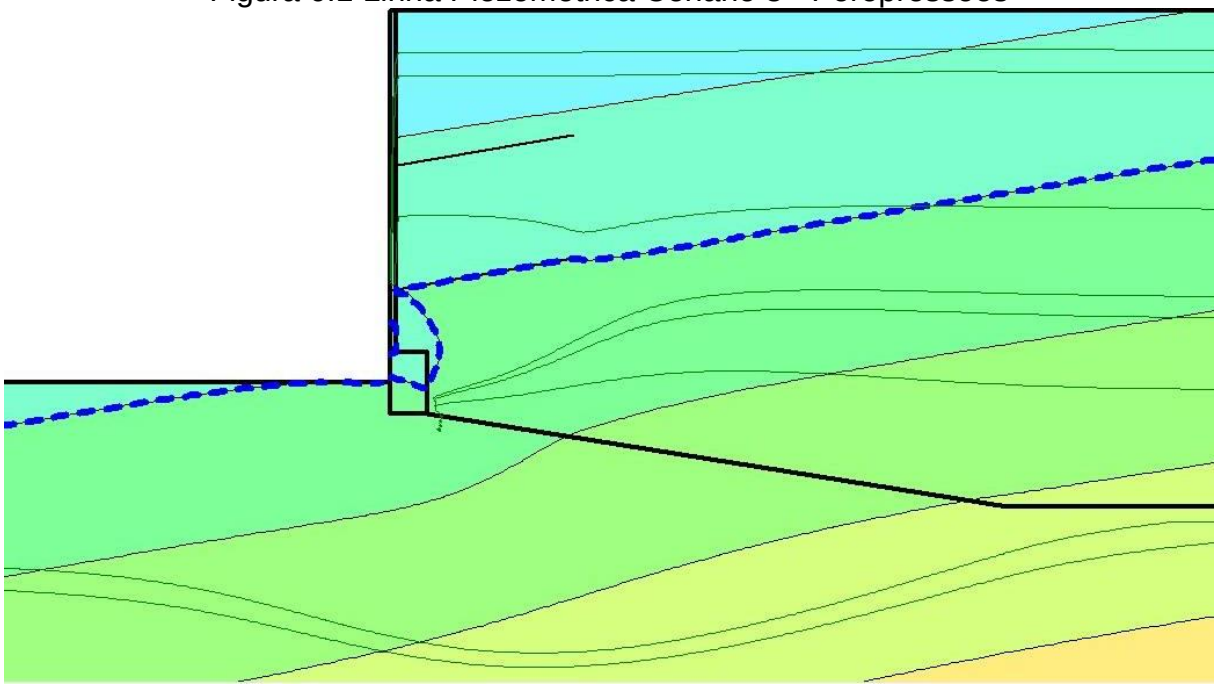
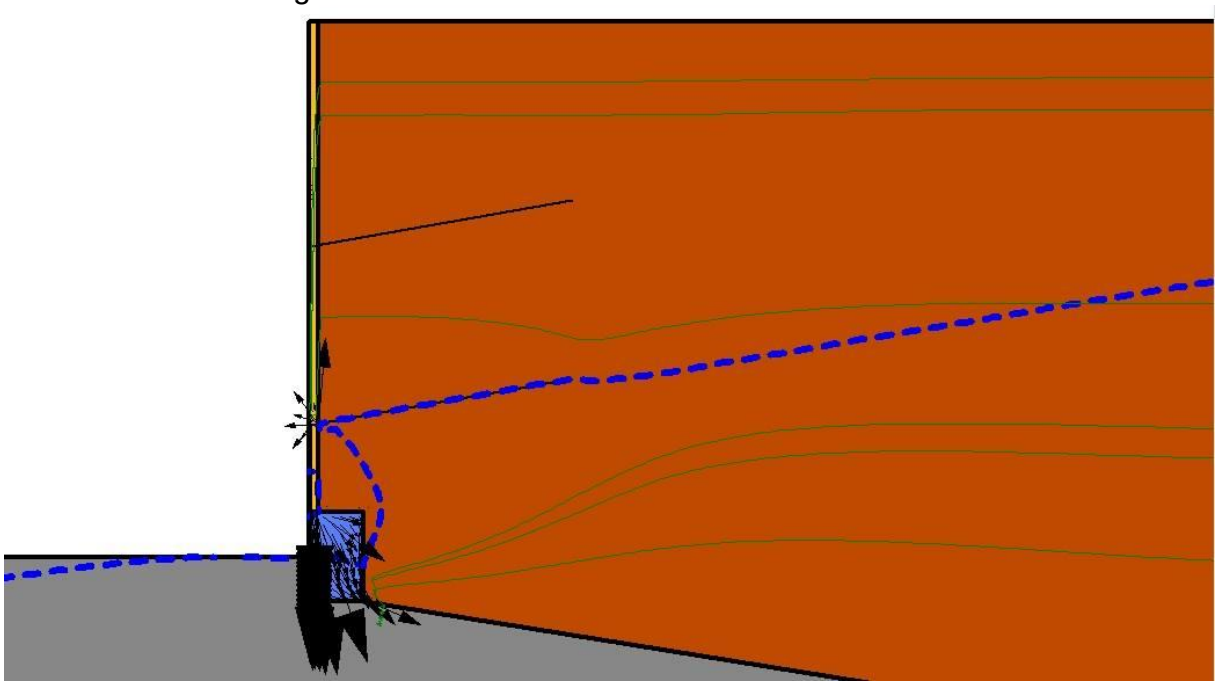


Figura 6.2 Linha Piezométrica Cenário 3 – Fluxo



7 Conclusão

O uso de softwares para análises geotécnicas é cada vez maior. O MEF vem sendo amplamente utilizado e tem grande aplicabilidade e eficiência. Através do MEF podemos controlar a precisão dos resultados além de podermos criar diferentes cenários. Porém é imprescindível que se apliquem as condições de contorno corretas, caso contrário, os resultados esperados podem não ser encontrados ou apresentarem “erros”, como foi percebido neste trabalho.

O usuário tem a responsabilidade de adequar as condições de contorno ao fluxo que se acredita estar acontecendo e para que essa escolha seja assertiva é necessário um conhecimento um pouco mais aprofundado na área de geotecnia.

Quando escolhermos um software mais didático, com uma interface mais simples, que exige menos inputs do usuário, restringimos recursos do software, como neste trabalho. Buscando facilitar a entrada de dados do usuário, simplificamos as condições de contorno e geramos análises inadequadas do problema sugerido, pois, como citado acima as condições de fluxo utilizadas não são as opções que descrevem melhor a condição real.

Sendo assim, o presente trabalho é inconclusivo. Para resultados conclusivos e assertivos são necessários conhecimentos e expertise que excedem esse trabalho final de graduação. Portanto, sugere-se um estudo posterior, mais detalhado e com uma análise de fluxo em regime não permanente.

Propõe-se que o uso de novas tecnologias seja mais difundido nas universidades, para que exista maior familiaridade dos alunos com os softwares, não só quanto a parte teórica mas também quanto ao “manuseio” dos mesmos. Aumentando a frequência do uso de softwares os alunos não só teriam maior facilidade na escolha de parâmetros e condições de contorno adequados, como também maior facilidade em visualizar os fluxos, movimentos de massa e superfícies de ruptura, no software e em situações reais. Dessa forma o ensino seria mais didático, próximo das situações reais e da aplicação prática da engenharia.

Referências

ACI. **Obras: Dissipador De Energia.** Prefeitura Municipal de Ipiranga do Norte. Ipiranga do Norte – MT: 2015. Disponível em: <http://www.ipirangadonorte.mt.gov.br/Noticias/Obras-dissipador-de-energia/> Acesso em: 31 jan. 2018

ALMEIDA, G. C. P.D. **Caracterização Física E Classificação Dos Solos.** Departamento de Transportes da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora – MG: 2005. Disponível em: < http://ufrrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf> Acesso e: 31 jan. 2019

BONAFÉ G. **Cortina Atirantada Em Concreto Armado Contém Empuxos Do Solo**. AECweb - Revista Digital. São Paulo – SP: 2016. Disponível em: < https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cortina-atirantada-em-concreto-armado-contem-empuxos-do-solo_14268_0_0 > Acesso em: 03 abr. 2018

CORDEIRO, C. S. **Análise De Problemas De Fluxo Não Confinado Em Meio Poroso Pelo Método Dos Elementos Finitos**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG: 2012.

DE CARVALHO, P. A. S. **Manual de Geotecnia: Taludes de Rodovias: Orientação Para Diagnóstico e Soluções de Seus Problemas**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo – SP: 1991.

DA SILVA, K. F. **Análise do Comportamento Tensão-deformação de Cortinas Atirantadas**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto - MG: Novembro de 2016. Disponível em: < http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/8853 > Acesso em: 30 mai 2018.

DAS, B. M., **Fundamentos da engenharia geotécnica**. Thomson Learning. São Paulo – SP: 2007.

DE SOUZA, V. A. D.; DE CASTRO M. A. H.; FONTENELLE A. S.; OLIVEIRA Y. C. **Obras de Recuperação e Intervenções de Segurança Efetuadas na Fundação e Aterro Compactado da Barragem Jaburu I. XXVI Seminário Nacional de Grandes Barragens**. Anais eletrônicos, Goiânia – GO: 2005. Disponível em: < http://www.cbdb.org.br/13-63/Grandes%20Barragens%20%20%20Eventos%20Realizados >. Acesso em: 22 jan. 2018

DYMINSKI, A. S. **Notas de Aula – Estabilidades de Taludes**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45783937/Taludes_-_UFPR.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1522771260&Signature=86GOO1QFWierA%2FFKZgZtkEj%2Bi0s%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DNOCOES_DE_ESTABILIDADE_DE_TALUDES_E_CONT.pdf> Acesso em: 03 abr. 2018

NTC. **Entendendo O Concreto Projetado**. NTC Brasil. São Paulo – SP: 2015. Disponível em: <https://www.ntcbrasil.com.br/blog/entendendo-o-concreto-projetado/> Acesso em: 31 jan. 2018

Geoesp. **Tirantes.** Geoesp Geotecnia e Fundações. Americana – SP: 2015. Disponível em: < http://www.geoesp.com.br/tirantes.html > Acesso em: 28 jun. 2018

GeoFast. **Correlações SPT GeoFast.** GeoFast Treinamento e Consultoria em Geotrcnia. Ouro Preto – MG: 2012.

Geofund. **Tirantes.** Geofund Fundações Especiais. Benfica – Angola: 2018. Disponível em: < http://www.geofund.com.br/tirantes/ > Acesso em: 28 jun. 2018

GERSCOVICH, D. M. S. **Notas De Aula Mecânica Dos Solos Ii: Muros De Gravidade.** Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: < http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf > Acesso em: 22 jan. 2018

HUERTAS, J. R. C. **Modelagem Numérica de Fluxo 3D em Meios Porosos**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ: Outubro de 2006. Disponível: < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9948/9948_1.PDF > Acesso em: 06 jul. 2018

JÚNIOR, J. C.M. **Análise De Problemas De Fluxo Em Meio Poroso Não Saturado Pelo Método Dos Elementos Finitos**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG: 2000. Disponível em: < http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6147 > Acesso em: 25 abr. 2018

JÚNIOR, L. A. N. **Metodologia de Execução de Contenção em Cortinas Atirantadas e Casos de Obras**. Universidade Cidade de São Paulo. Belo Horizonte - MG: 2015. Disponível em: <https://www.slideshare.net/slideshow/embed_code/key/i3sahNO4PeP3cS> Acesso em: 30 jan. 2019

JÚNIOR, L. A. N. **Muro de Arrimo**. LAN - Especialista em Fundações Pesadas e Geotecnia. Juiz de Fora - MG: 2010. Disponível em: < https://sites.google.com/site/naresi1968/naresi/24-muro-de-arrimo> Acesso em: 28 jun. 2018

LACERDA, L. A. D., BOSZCZOWSKI R. B., VICTORINO M. M. **Análises de fluxo e estabilidade em barragem de terra e comparação entre dados piezométricos de campo e pressões obtidas em modelagem numérica.** XXVII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Belém – Pará: Junho de 2007. Disponível em: < http://www.cbdb.org.br/seminario/belem/ct02.pdf> Acesso em: 30 de jan. 2019.

LAMBE, T., WHITMAN, R. V. **Soil Mechanics, SI version.** New York: John Wiley& Sons Inc, 1979. 553p.

MARCELINO, L. E. M. **Estabilidade de Taludes – Slope e Seep Student.** GeoFast Treinamento e Consultoria em Geotecnia. Ouro Preto – MG: 2015.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora – MG: 2006. Disponível em: < http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid03-GeoContencoes-Parte01-2006-2.pdf > Acesso em: 22 jan. 2018

MATOS, L. F. S. **Potencialidades Dos Aterros Reforçados Na Recuperação De Taludes Em Blumenau**. Universidade Regional de Blumenau. Blumenau – SC: 2009. Disponível em: < https://pt.slideshare.net/Propex/potencialidades-dos-aterros-reforados-na-recuperao-de-taludes-em-blumenau-dr-lucio-flavio-da-silveira-matos-1338794 > Acesso em: 03 abr. 2018

MENDES, F. B. O **Uso de Ferramenta Computacional na Avaliação e Dimensionamento de Cortina Atirantada.** Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto - MG: 22 de Outubro de 2010. Disponível em: < http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2337 > Acesso em: 30 mai. 2018

MIKOS, A. P.; ET AL. **Manifestações Patológicas Decorrentes Em Solo Grampeado E Cortina Atirantada**. 2º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções. Curitiba – PR: 2017. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/317151041_Manifestacoes_Patologicas_decorrentes_em_Solo_Grampeado_e_Cortina_Atirantada > Acesso em: 03 abr. 2018

MORE, J. Z. P. **Análise Numérica do Comportamento de Cortinas Atirantadas em Solos**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ: 2003. Disponível em: < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=4127@1 > Acesso em: 03 abr. 2018

PAIS, P. S. M. **Notas de Aula Fundações e Obras de Terra.** Centro Universitário e Belo Horizonte. Belo Horizonte – MG 2013. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/11153695/aula-14---drenagem-e-rebaixamento-do-lencol--freatico> . Acesso em: 10/12/2017

Petrucio. **Adensamento de Solo Mole**. 1° Prêmio IGS Brasil de Fotografia. Rio de Janeiro- RJ: 2008. Disponível em: < http://igsbrasil.org.br/premio-fotografia/foto-120> Acesso em: 31 jan. 2018

PORTO, T. B. **Ancoragem em Solos – Comportamento Geotécnico e Metodologia Via Web Para Previsão e Controle.** Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto

– MG: Nov 2015. Disponível em: < http://www.nugeo.com.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/tese-thiago-rev-2016-v1-revisado.pdf > Acesso em: 28 jun. 2018

QUISPE, R. J. Q. **Implementação Numérica Para Análise De Fluxo Transiente 3d Em Barragens**. Pontifíciia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ:2008. Disponível em: < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=12189@1 > Acesso em: 24 abr. 2018

ROJAS, O. D. S. **Estudo do Comportamento de Um Geocomposto Drenante em Relação à Sua Capacidade de Vazão**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ: Setembro de 2014. Disponível em: < http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down_pdf.php?pdf=../pdf/2014_Orlando_da_Silva_Rojas.pdf > Acesso em: 06 jul. 2018

ROMANINI, A. **Aula 15 – Cortinas E Escoramentos: Cortina Atirantada**. Universidade do Estado de Mato Grosso. Sinop – MT: 2017. Disponível em: < http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_13427aula_15_-_pdf_Aula_15_-.pdf > Acesso em: 03 abr. 2018

SILVA L. A.; COSTA A. C. **A Influência da Eficiência do Sistema de Drenagem na Análise de Estabilidade do Muro de Arrimo**. Universidade de Pernambuco. Anais da Mostra de Extensão, Inovação e Pesquisa, Recife – PE: 2017. Disponível em: <http://revistas.poli.br/~anais/index.php/anais/article/view/490> Acesso em: 22 jan. 2018

TEIXEIRA, I. J. R. **Estudo Comparativo De Duas Alternativas Para Contenção De Taludes Verticais: Solo Grampeado E Cortina Atirantada**. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana – BA: 2011. Disponível em: < http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/%C3%8DTALO%20JEFFERSON%20ROCHA%20TEIXEIRA.pdf > Acesso em: 03 abr. 2018

ZIRLIS, A. C. **Solo Grampeado-Execução**. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. São Paulo – SP: 1999. Disponível em: < http://www.solotrat.com.br/assets/pdf/1999-solo-grampeado-execucao.pdf > Acesso em: 03 abr. 2018

Declaração De Validação De Versão Final De Trabalho De Conclusão De Curso

Certifico que a aluna **Maria Luíza Nunes Teixeira**, autora do trabalho de conclusão de curso intitulado "**Modelagem Computacional De Dispositivos De Drenagem Em Cortinas Atirantadas**", efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

Christianne de Lyra Nogueira

Christianne de Lyra Nogueira

Orientadora

Bruxelas, 09 de abril de 2019.