



UNILA

Universidade Federal
da Integração
Latino-Americana

**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA INTERFACE
ARGILA ORGÂNICA MOLE E GEOTÊXTIL NÃO TECIDO**

RODRIGO COUTO VIEIRA

Foz do Iguaçu - PR
2022

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA INTERFACE ARGILA ORGÂNICA MOLE E GEOTÊXTIL NÃO TECIDO

RODRIGO COUTO VIEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador: Prof. Me. Julio César Bizarreta Ortega

Foz do Iguaçu - PR
2022

RODRIGO COUTO VIEIRA

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA INTERFACE ARGILA ORGÂNICA MOLE E GEOTÊXTIL NÃO TECIDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Me. Julio César Bizarreta Ortega
UNILA

Prof. Dr. Noe Villegas Flores
UNILA

Prof. Me. Guilherme Irineu Venson
UNIOESTE

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): _____

Curso: _____

| Tipo de Documento | |
|------------------------|--|
| (.....) graduação | (.....) artigo |
| (.....) especialização | (.....) trabalho de conclusão de curso |
| (.....) mestrado | (.....) monografia |
| (.....) doutorado | (.....) dissertação |
| | (.....) tese |
| | (.....) CD/DVD – obras audiovisuais |
| | (.....) _____ |

Título do trabalho acadêmico: _____

Nome do orientador(a): _____

Data da Defesa: ____/____/____

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, ____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus,
aos meus pais, Joel e Celia, a minha família
e esposa Carolina que tanto amo.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me conduzido até este momento, por ser luz em meu caminho, e por ter colocado muitas pessoas para me auxiliar, pois nenhuma conquista é realizada sem uma mão amiga.

Sou muito grato por minha família, por ter me dado suporte, agradeço muito aos meus pais Joel e Celia, por ter me ajudado, por ter me dado a força necessária para vencer as dificuldades, pelas palavras de bom animo.

Agradeço a minha linda esposa Carolina, que não mediu esforços para me auxiliar, por estar lado a lado nessa caminhada, por me saber entender, por fazer desse trajeto mais bonito, construindo junto comigo o nosso sonho.

Aos meus amigos de universidade meu muitíssimo obrigado, muchas gracias Angel; Darwin; Eloy; Rolando; Paul; Hugo; Jair; Sarita; Adriana; Letty, foram muitas as batalhas, provas, trabalhos, exames kkkk juntos, vocês fizeram desse tempo repleto de altas risadas e altos churras juntos, estamos juntos sempre galera.

Agradeço aos professores da UNILA que compartilharam seus conhecimentos durante todo esse período, pela amizade construída, ao professor Noe e ao professor Guilherme por fazerem parte da minha banca avaliadora, em especial ao professor Julio meu orientador, sou grato por caminhar comigo na área de geotecnia, foram inúmeros os ensinamentos que aprendi contigo professor, agradeço por seus conselhos, por me auxiliar na construção desse trabalho.

Por fim sou agradeço a todos que de alguma parte fez parte dessa conquista, desse sonho realizado chamado Engenheiro Civil.

*Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente;
no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará
contigo en dondequiera que vayas.*

Josué 1:9

RESUMO

Na região de Foz do Iguaçu - PR, existem algumas áreas que apresentam depósitos de solos orgânicos moles, porém não foram publicados trabalhos ao respeito. Futuros projetos rodoviários na região, possivelmente tenham que usar mantas de geotêxteis como reforço de base de aterro sobre solo mole. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar a resistência ao cisalhamento na interface do solo com o geotêxtil para investigar problemas de expulsão do solo mole após a colocação de um aterro com reforço de geotêxtil na base. Para a execução dos ensaios de resistência da interface solo – geotêxtil, foi desenvolvido um molde de concreto com uma face de geotêxtil que encaixa na metade da caixa do equipamento tradicional de cisalhamento direto. Os estudos foram realizados com uma argila orgânica mole indeformada, encontrada no trecho em execução do projeto da Perimetral Leste de Foz do Iguaçu-PR. O solo resultou predominantemente argiloso, classificado como A-7-5 pela AASHTO e OL (solo orgânico de baixa compressibilidade) pelo SUCS, com 18,9° de ângulo de atrito e 26,2 kPa de intercepto coesivo. As características da interface solo-geotêxtil foram de 25,9° de ângulo de atrito e 2,8 kPa de adesão, situaram-se dentro da faixa encontrada na literatura. O comportamento da curva tensão-deslocamento foi sem pico definido, e a curva de variação volumétrica-deslocamento mostrou um comportamento de compressão da amostra. Estes resultados ajudarão a compreender as propriedades do solo mole da região e da interface do solo com o geotêxtil.

Palavras-chave: argila orgânica mole; geotêxtil não tecido; resistência ao cisalhamento; interface solo-geotêxtil.

RESUMEN

En la región de Foz de Iguazu - PR, hay algunas áreas que tienen depósitos de suelos orgánicos blandos, pero no se han publicado estudios sobre el tema. Los futuros proyectos viales en la región posiblemente tendrán que usar mantas de geotextiles como base de relleno en suelos blandos. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar la resistencia al corte en la interfase del suelo con el geotextil para investigar problemas de expulsión del suelo blando luego de la colocación de un terraplén con refuerzo de geotextil en la base. Para realizar los ensayos de resistencia de la interfase suelo-geotextil se desarrolló un molde de concreto con una cara de geotextil que cabe en la mitad de la caja del equipo tradicional de corte directo. Los estudios fueron realizados con una arcilla orgánica blanda inalterada, encontrada en el tramo del proyecto de la vía Perimetral Leste que se encuentra en construcción en Foz de Iguazu-PR. El suelo era predominantemente arcilloso, clasificado como A-7-5 por la AASHTO y OL (suelo orgánico de baja compresibilidad) por el SUCS, con $18,9^\circ$ de ángulo de fricción y 26,2 kPa de cohesión. Las características de la interfase del suelo-geotextil fueron de $25,9^\circ$ de ángulo de fricción y 2.8 kPa de adherencia, dentro del rango encontrado en la literatura. El comportamiento de la curva esfuerzo-deformación fue sin un pico definido, y la curva de variación volumétrica-deformación mostró un comportamiento de compresión de la muestra. Estos resultados ayudarán a comprender las propiedades del suelo blando de la región y la interfase entre el suelo y el geotextil.

Palabras **clave**: arcilla orgánica blanda; geotextil no tejido; resistencia al corte; interfaz suelo-geotextil.

ABSTRACT

In the region of Foz do Iguaçu - PR, there are some areas that have deposits of soft organic soils, but no studies have been published on the subject. Future road projects in the region will possibly have to use geotextile blankets as backfill base on soft soil. In this context, the present work aims to study the shear strength at the interface of the soil with the geotextile to investigate problems of expulsion of soft soil after the placement of an embankment with geotextile reinforcement at the base. To perform the soil-geotextile interface strength tests, a concrete mold was developed with a geotextile face that fits in the half of the box of the traditional direct shear equipment. The studies were carried out with an undisturbed soft organic clay, found in the stretch in progress of the Perimetral Leste project in Foz do Iguaçu-PR. The soil was predominantly clayey, classified as A-7-5 by AASHTO and OL (low compressibility organic soil) by SUCS, with 18.9° of friction angle and 26.2 kPa of cohesion. The characteristics of the soil-geotextile interface were 25.9° of friction angle and 2.8 kPa of adhesion, within the range found in the literature. The behavior of the stress-strain curve was without a defined peak, and the volumetric variation-strain curve showed a compression behavior of the sample. These results will help to understand the properties of the soft soil in the region and the interface between the soil and the geotextile.

Key words: bland organic clay; geotextile in the fabric; shear resistance; soil-geotextile interface.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema de um solo reforçado | 17 |
| Figura 2. Geotêxtil não tecido..... | 18 |
| Figura 3. Geotêxtil tecido | 18 |
| Figura 4. Reforço de aterro com geotêxtil | 18 |
| Figura 5. Execução de aterro com reforço | 18 |
| Figura 6. Transferência de tensões em estradas com e sem reforço..... | 19 |
| Figura 7. Mecanismo de instabilidade de aterro reforçado sobre solo mole: expulsão de solo mole de fundação. | 20 |
| Figura 8. Aterro reforçado diretamente no solo da fundação | 21 |
| Figura 9. Aterro reforçado sobre estacas | 21 |
| Figura 10. Seção transversal do aterro reforçado | 22 |
| Figura 11. Seção ao longo do eixo do aterro..... | 22 |
| Figura 12. Características geométricas do reforço do aterro | 23 |
| Figura 13 – Curva típicas de argilas pré-adensadas a partir de ensaios triaxiais drenados | 24 |
| Figura 14 - Curva típicas de argilas normalmente-adensadas a partir de ensaios triaxiais drenados | 24 |
| Figura 15. Ensaio de cisalhamento direto: tensões atuantes | 26 |
| Figura 16. Ensaio de cisalhamento direto: Drenagem da amostra | 26 |
| Figura 17. Esquema da câmara de ensaio triaxial | 27 |
| Figura 18. Ensaio cisalhamento direto com área constante..... | 29 |
| Figura 19. Ensaio de cisalhamento direto com área que reduz durante o ensaio | 29 |
| Figura 20. Fluxograma da metodologia do trabalho | 31 |
| Figura 21 – Localização da área de estudo | 32 |
| Figura 22 – Extração da amostra indeformada | 33 |
| Figura 23 – Procedimento de extração | 34 |
| Figura 24 – Geotêxtil não tecido..... | 34 |
| Figura 25 – Ensaios para caracterização física..... | 36 |
| Figura 26 – Análise de pH do solo..... | 36 |
| Figura 27 – Peças do equipamento utilizado – Cisalhamento Direto da Owntec | 37 |
| Figura 28 – Processo do solo talhado e inserido no molde biselado..... | 38 |
| Figura 29 - Nivelamento da amostra | 38 |
| Figura 30 – Processo de inserção da amostra sobre a caixa de cisalhamento..... | 39 |
| Figura 31 – Montagem da caixa de cisalhamento no equipamento. | 40 |
| Figura 32 – Amostra Cisalhada. | 40 |
| Figura 33 – Adaptação do geotêxtil sobre a base rígida de concreto..... | 41 |
| Figura 34 - Características da base rígida | 42 |
| Figura 35 – Conjunto solo mais geotêxtil | 42 |
| Figura 36 – Solo mais geotêxtil depois de cisalhado..... | 43 |
| Figura 37 – Curva granulométrica | 44 |
| Figura 38 - Curva tensão cisalhante x deslocamento – Argila orgânica | 46 |

| | |
|---|----|
| Figura 39 - Envoltória de resistência – Argila Orgânica..... | 47 |
| Figura 40 – Gráfico da variação da altura x deslocamento horizontal – Argila Orgânica..... | 48 |
| Figura 41 - Curva tensão cisalhante x deslocamento – Interface argila orgânica-geotêxtil..... | 49 |
| Figura 42 - Envoltória de resistência – Interface argila orgânica-geotêxtil | 50 |
| Figura 43 - Gráfico da variação da altura x deslocamento horizontal – Interface argila orgânica - geotêxtil | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Classificação do solo orgânicos..... | 16 |
| Tabela 2. Parâmetros típicos de várias pesquisas sobre resistência ao cisalhamento de solos moles | 28 |
| Tabela 3. Parâmetros típicos de várias pesquisas sobre resistência ao cisalhamento da interface argila-geotêxtil | 30 |
| Tabela 4 – Propriedades do geotêxtil empregado na pesquisa..... | 35 |
| Tabela 5 – Normas aplicadas aos ensaios realizados..... | 35 |
| Tabela 6 – Distribuição granulométrica conforme NBR 6502 (2022)..... | 45 |
| Tabela 7 - Características da amostra e classificação..... | 45 |
| Tabela 8 – Densidade natural, valores de moldagem do ensaio de cisalhamento direto – argila orgânica..... | 46 |
| Tabela 9 – Parâmetros de resistência encontrados por outros pesquisados - cisalhamento direto drenado | 48 |
| Tabela 10 - Densidade natural, valores de moldagem do ensaio de cisalhamento direto – interface argila orgânica-geotêxtil..... | 49 |
| Tabela 11 - Parâmetros de resistência de interface encontrados por outros pesquisados - cisalhamento direto drenado..... | 51 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1 | OBJETIVOS | 14 |
| 1.1 | OBJETIVOS GERAIS | 14 |
| 1.1.1 | Objetivos específicos..... | 14 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRAFICA | 15 |
| 2.1 | ARGILA ORGÂNICA MOLE..... | 15 |
| 2.1.1 | Origem dos depósitos de argila orgânica | 15 |
| 2.1.2 | Caracterização física e matéria orgânica | 15 |
| 2.1.3 | Compressibilidade e adensamento da argila orgânica | 16 |
| 2.2 | ATERROS REFORÇADO COM GEOTÊXTIL SOBRE SOLOS MOLES | 17 |
| 2.2.1 | Solo Reforçado..... | 17 |
| 2.2.2 | Geotêxtil | 17 |
| 2.2.3 | Aterros reforçados com geotêxtil | 18 |
| 2.2.4 | Mecanismos de ruptura | 19 |
| 2.2.5 | Casos no Brasil | 20 |
| 2.3 | RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE ARGILAS MOLES | 23 |
| 2.3.1 | Resistência ao cisalhamento de solos..... | 23 |
| 2.3.2 | Ensaio de Cisalhamento Direto Drenados..... | 25 |
| 2.3.3 | Ensaio Triaxial CU | 26 |
| 2.3.4 | Parâmetros de resistência típicos..... | 27 |
| 2.4 | RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA INTERFACE ARGILA-GEOTÊXTIL.... | 28 |
| 2.4.1 | Ensaio de cisalhamento direto | 28 |
| 2.4.2 | Parâmetros de resistência da interface argila-geotêxtil | 29 |
| 3 | MATERIAIS E METODOS | 31 |
| 3.1 | ÁREA DE ESTUDO | 32 |
| 3.2 | MATERIAIS | 33 |
| 3.2.1 | Coleta de amostras indeformada..... | 33 |
| 3.2.2 | Características do Geotêxtil | 34 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3 | MÉTODOS | 35 |
| 3.3.1 | Ensaio de caracterização física | 35 |
| 3.3.2 | Ensaio de cisalhamento direto..... | 37 |
| 3.3.3 | Ensaio de cisalhamento direto adaptado para interfaces solo-geotêxtil | 41 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSÕES | 44 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO FÍSICA..... | 44 |
| 4.2 | RESISTÊNCIA AO CILSALHAMENTO DA ARGILA ORGÂNICA | 45 |
| 4.3 | RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA INTERFACES ARGILA ORGANICA- GEOTÊXTIL..... | 48 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 52 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 54 |

1 INTRODUÇÃO

Os solos moles, caracterizam-se geralmente por constituir uma taxa de material orgânico, que por vezes apresentam um alto teor de umidade, possuem características de solos finos, tal como argilas e siltes, e com baixos parâmetros de resistência ao cisalhamento (MASSAD, 2010).

Os valores de investimento em ensaios de laboratórios detalhados, e programas de investigação em campo, se justificam, pois com esses parâmetros de investigação aprimorada se pode projetar obras sobre solo mole com um coeficiente de segurança relativamente baixo, quando comparado a outros projetos geotécnicos, em caso contrário as obras em questão se tornam com elevado valor econômico, comprovando assim o investimento em ensaios e estudos sobre solos moles (ALMEIDA; MARQUES, 2014).

Aterros sobre solos moles é um assunto de suma importância, pois atualmente se tem visto cada dia mais a escassez de terrenos de características de suporte melhores, se comparado as características do solo mole, resultando assim a procura dessas regiões para fins de construção de obras civil de infraestrutura, entretanto a construção de aterro sobre solo mole, requer muito estudo, pois é sempre um desafio a engenharia devido as grandes deformações e acréscimos de tensões geradas nesse solo (ALVES, 2014). Os projetos para a construção de aterros requerem variedades de concepções de soluções para resolver as debilidades de resistência e compressibilidade dos depósitos de solo mole, sendo assim de suma importância os estudos de caracterização e a determinação precisa dos parâmetros de resistência do solo para se definir a melhor solução contra a ruptura e deslocamento do tipo de obra em questão (CADETE, 2016).

Várias soluções técnicas estão disponíveis atualmente para se evitar ou minimizar os efeitos de construção sobre solo mole, desde a sua total remoção, à melhoria do solo mole ou reforço do conjunto aterro e base de aterro, com o intuito de melhorar as limitações de resistência a tração e ao cisalhamento dos solos moles, e gerar uma redistribuição das tensões e deformação, gerando assim uma nova redistribuição das tensões e deformações. Quando se utiliza o reforço na base do aterro, os geossintéticos tem-se demonstrado como uma boa opção técnica, como tem demonstrado em outros países, entretanto com o pouco uso dessa técnica decorrente da escassez de conhecimento das características geotécnicas do solo, assim como as características e propriedades relevantes do elemento de reforço são também, por vezes negligenciadas, sendo assim, um dos papeis mais importante do projetista, é conhecer a fundo as

características do solo e também as características das soluções quanto a sua resistência proporcionada ao conjunto aterro e base de aterro (PALMEIRA et al., 2001).

Um modelo de geossintético para utilização de reforço na base de aterro é o geotêxtil não tecido, que dentre as diversas características podemos citar a seu comportamento de reforço na base de aterros, com uma boa resistência a danos mecânicos, sua capacidade de dissipação de tensões (VERTEMATTI, 2001).

Portanto, um projeto seguro e econômico de aterro sobre solos moles com geotêxtil, requer o conhecimento do comportamento da interface solo-reforço. A mobilização do ângulo de atrito de interface entre o solo e geotêxtil, e sua adesão, são fatores importantes que requerem análise. A literatura apresenta vários equipamentos e métodos para estudar o mecanismo que atuam no cisalhamento das interfaces, um desses ensaios é o de cisalhamento direto (DAS; SOBHAN, 2014). Na cidade de Foz do Iguaçu, os estudos sobre solos moles se concentram nos solos residuais de origem basáltico (OLIVEIRA et al. 2018; ANAGUA COILA, 2019; OCHOA AVEROS; BIZARRETA ORTEGA, 2021), não foram encontradas publicações a respeito das argilas orgânica mole na região.

Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar as características físicas e parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito) da argila orgânica mole encontrada no trecho em execução da Perimetral Leste – Foz do Iguaçu-PR, assim como as características físicas e parâmetros de resistência (adesão e ângulo de atrito) da interface solo-geotêxtil, visando assim uma contribuição para o conhecimento técnico sobre o solo, e também sobre o conhecimento do comportamento de geotêxtil na base de aterro.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo estudar a resistência ao cisalhamento de uma argila orgânica mole, assim como a resistência na interface do solo com o geotêxtil para investigar problemas de expulsão do solo mole.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos para a realização deste trabalho são:

- Analisar as características físicas de amostra indeformada de argila orgânica mole;
- Estudar o comportamento ao cisalhamento da argila orgânica mole, com tensões normais de 54,5 – 109 – 218 kPa, através de ensaio de cisalhamento direto drenado;
- Estudar o comportamento ao cisalhamento da interface solo-geotêxtil com tensões normais de 54,5 – 109 – 218 kPa, através de ensaio de cisalhamento direto drenado;
- Adaptar o equipamento tradicional de cisalhamento direto para análise de cisalhamento na interface solo-geotêxtil.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 ARGILA ORGÂNICA MOLE

2.1.1 Origem dos depósitos de argila orgânica

Os solos moles são geralmente orgânicos, de coloração escura, com baixa resistência e alto teor de umidade, ocorrem frequentemente em baixadas e planícies. Os depósitos de solos moles são, na sua maioria composto por grãos minerais, podendo existir também casos de depósitos orgânicos (turfas), composto por materiais decompostos como resto de vegetais e animais (MASSAD, 2010).

Segundo Cadete (2016), existem três regiões distintas onde a matéria orgânica apresenta sob estados diferentes. Na primeira região, camada superficial, a matéria orgânica se apresenta na sua maioria ainda não decomposta. Na segunda região, camada intermediária, a matéria orgânica se apresenta em plena decomposição, formam-se os compostos não húmicos e outros produtos da decomposição orgânica, tais como ácidos, álcoois, aldeídos e base orgânicas, esses produtos são absorvidos pelas partículas de argila. Na última região, contém a matéria orgânica praticamente mineralizada, nesta camada encontramos os menores teores de matéria orgânica.

2.1.2 Caracterização física e matéria orgânica

Segundo Almeida e Marques (2014), a fase preliminar para caracterizar fisicamente os solos moles se dá pela determinação de umidade natural (W_n) e dos limites de Atterberg das amostras indeformadas ou extraídas do amostrador SPT. A umidade permitiria fazer uma correlação com os parâmetros do solo, e os limites de Atterberg avaliam qualitativamente a compressibilidade da argila.

Para reconhecer os solos com presença de matéria orgânica, Sousa Pinto (2006) afirma que, os solos orgânicos se caracterizam por sua cor escura e pelo odor característico, pois contém uma quantidade de matéria decorrente de decomposição de origem vegetal ou animal. A norma norte americana ASTM classifica como solo orgânico através de uma relação entre o limite de liquidez seco em estufa com o limite de liquidez da

amostra natural, sendo assim será solo orgânico se o Limite de Liquidez seco apresenta menos do que 75% do Limite de Liquidez da amostra natural (DAS; SOBHAN, 2014). Assim como também poderia apresentar o teor de matéria orgânica que pode ser determinado através da norma NBR 13600 (ABNT, 2022) e seu resultado será em peso variando de 4 a 20%, causando um elevado índice de vazios em sua estrutura.

Segundo Magnan (1980), o solo orgânico pode ser clássico em três etapas de acordo com o seu teor de matéria orgânica (TMO) como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do solo orgânicos (MAGNAN, 1980)

| Intervalo de TMO (%) | Classificação |
|-----------------------------|------------------------------|
| 3 < TMO < 10 | Solos poucos orgânicos |
| 10 < TMO < 30 | Solos medianamente orgânicos |
| TMO ≥ 30 | Solos muito orgânicos |

2.1.3 Compressibilidade e adensamento da argila orgânica

Sousa Pinto (2006) ressalta a problemática da elevada compressibilidade dos solos orgânicos, e por sua característica orgânica, possuem elevados índices de vazios, assim como por sua sedimentação recente, normalmente adensados, possuem baixa capacidade de suporte e considerável compressibilidade.

A relação que define a quantidade de baixa ou elevada compressibilidade é a umidade natural e o índice de plasticidade, podendo ser desde materiais com elevada plasticidade (H - high plasticity), até materiais com plasticidade extrema elevada (E- extremely high plasticity) (ALMEIDA; MARQUES, 2014).

Em algumas formações, ocorre uma importante concentração de folhas e caules em processo incipiente de decomposição, formando as turfas. São materiais extremamente deformáveis, mas muito permeáveis, permitindo que os recalques, devidos a carregamentos externos, ocorram rapidamente, considerados como solos muito orgânicos (SOUSA PINTO, 2006).

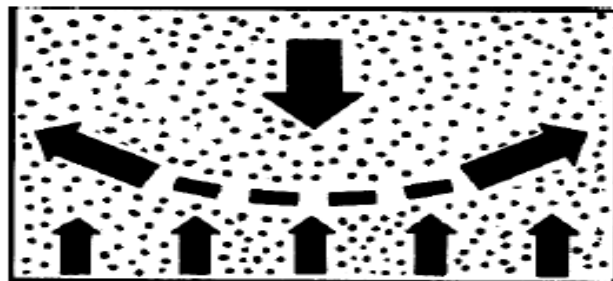
2.2 ATERROS REFORÇADO COM GEOTÊXTIL SOBRE SOLOS MOLES

2.2.1 Solo Reforçado

Entende-se reforço de solos como a utilização de processos físicos ou químicos que visem o melhoramento das propriedades mecânicas dos solos. Procura-se, o aumento da resistência do solo tratado e a diminuição de sua compressibilidade e de sua permeabilidade (CASAGRANDE, 2001).

O mecanismo de interação desenvolvido em um elemento de solo reforçado por inclusões que trabalham principalmente sob tração é caracterizado pela mobilização de forças de atrito (tensões de cisalhamento) ao longo do comprimento das inclusões, resultando em uma geração de forças de tração nos reforços (BENJAMIN, 2006). A Figura 1 demonstra o equilíbrio de um solo reforçado, sendo analisado que as tensões cisalhantes na interface solo-reforço se relacionam com as tensões de tração no reforço (VERTEMATTI, 2015).

Figura 1. Esquema de um solo reforçado



Fonte: Vertematti (2015)

2.2.2 Geotêxtil

Geotêxtil é um subproduto do grupo dos geossintéticos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define os geossintéticos na NBR ISO 10318-1 (ABNT, 2021), como produtos poliméricos sintéticos ou naturais, industrializados, desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas, desempenhando um ou mais funções.

Segundo Vertematti (2001), os geotêxteis dividem-se em dois grandes grupos, os tecidos e os não tecidos, que diferem entre si pelo processo de fabricação, a Figura 2 e Figura 3 apresentam em detalhe a diferença nos filamentos do geotêxtil, entretanto, nesse

estudo fará análise do geotêxtil não tecido. O geotêxtil não tecido é um material têxtil constituído de filamentos, ou fibras contínuas distribuídas casualmente, de modo que por fim formar-se a uma manta de alta resistência, obtida através de processos mecânicos (agulhagem), químicos, térmico, utilização de resinas, processos rotativos de lançamento de fios, entre outros, geralmente é formado por materiais como: poliéster, nylon, polipropileno, entre outros.

Figura 2. Geotêxtil não tecido

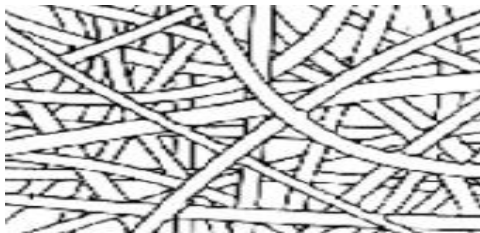
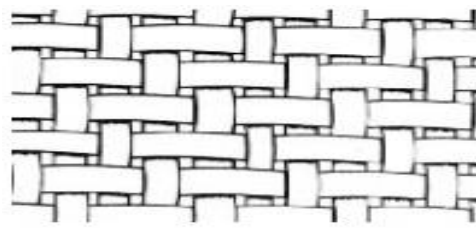


Figura 3. Geotêxtil tecido



Fonte: Vertematti (2001)

As principais funções do geotêxtil são: controle de erosão superficial; drenagem; filtração; impermeabilização; proteção; separação e reforço.

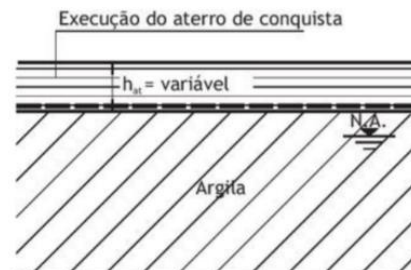
2.2.3 Aterros reforçados com geotêxtil

Os métodos construtivos de aterros reforçados sobre solos moles são utilizados para solucionar o minimizar os problemas de recalques e de estabilidade, e no caso de solos muito moles, é comum o uso de reforço de geossintético, como apresentam nas Figura 4 e Figura 5. Em alguns casos, a resistência da camada superior é tão baixa que se torna necessário o emprego de geotêxtil com resistência à tração entre 30 kN/m e 80 kN/m para minimizar a perda de material de aterro, aumentar o fator de segurança (F_s) e distribuir melhor as tensões (ALMEIDA; MARQUES, 2014).

Figura 4. Reforço de aterro com geotêxtil



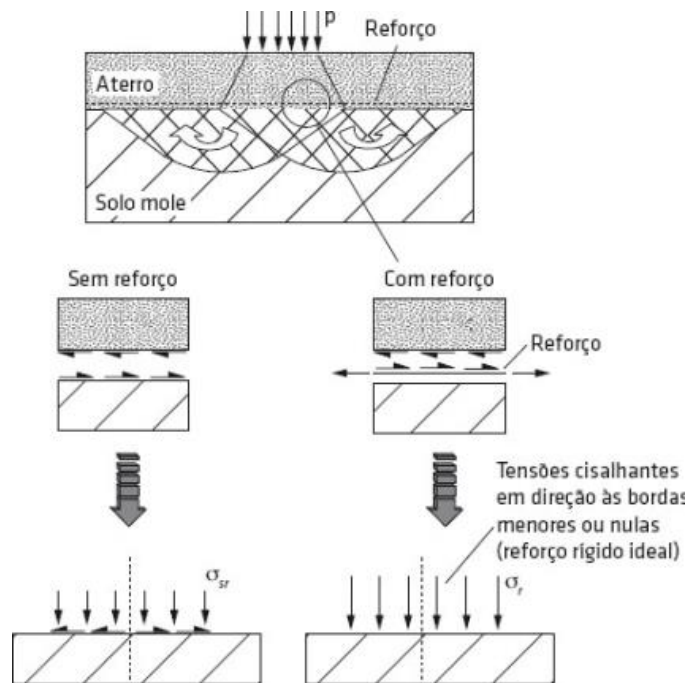
Figura 5. Execução de aterro com reforço



Fonte: Almeida e Marques (2014)

Segundo Palmeira (2018) a interação entre o material de aterro e o geotêxtil promove um confinamento lateral do aterro, diminuindo as deformações laterais e aumentando a capacidade de carga da estrada. A Figura 6 apresenta a transferência de tensões para o caso do aterro sem reforço onde as tensões cisalhantes na interface aterro-solo de fundação provocadas pelo carregamento superficial são transferidas para o solo de fundação em direção às bordas do trecho carregado, e no caso reforçado, o elemento de reforço absorve parte dessas tensões, sendo mobilizado à tração, o que reduz a parcela transferida ao solo de fundação, o que levaria à redução das tensões cisalhantes na superfície do solo mole, aumentando a capacidade de carga do solo de fundação.

Figura 6. Transferência de tensões em estradas com e sem reforço



Fonte: Palmeira (2018)

Palmeira (2018) afirma também que como consequência do emprego de reforço do geotêxtil aumentara a vida útil da estrada e o tempo entre manutenções periódicas.

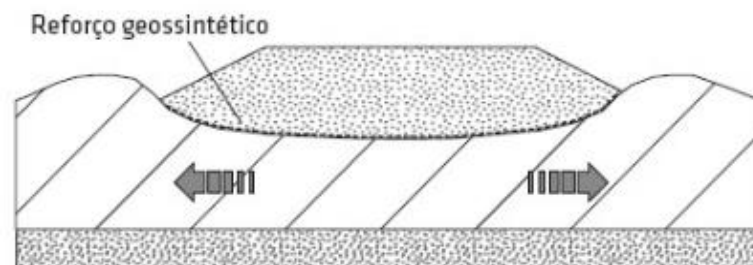
2.2.4 Mecanismos de ruptura

O nível de deformações necessárias para provocar a ruptura do conjunto aterro-fundação não é exatamente aquele que permitirá a mobilização da máxima força (resistência à tração) no reforço. Além disso, aterros muito altos ou muito reforçados em

sua base tendem a provocar um mecanismo de ruptura caracterizado pela expulsão lateral do solo mole, também conhecido como instabilidade da fundação, apresentado na Figura 7 que esquematiza um processo em que o solo mole de fundação é expulso lateralmente devido à sobrecarga do aterro, comum em situações de camadas de solos moles pouco espessas (Palmeira, 2018). A adição de mais aterro simplesmente realçaria essa expulsão, com o conseqüente afundamento do aterro no solo de fundação, no entanto, Palmeira et al. (2001) afirma que, em este tipo de mecanismo por vezes pode ser desencadeado propositalmente, como uma forma de expulsão do solo mole sob condições mais controladas e com minimização do consumo de aterro pela utilização de camada de geossintético na base.

A ruptura da fundação do aterro é um problema de capacidade de carga, pois a estabilidade de aterros reforçados consiste em verificar se a fundação tem ou não capacidade para resistir à sollicitação do aterro, por esse motivo recomenda-se que a capacidade de carga requerida do aterro não reforçado seja inferior à tensão admissível da argila de fundação, de forma a não imputar responsabilidade excessiva ao reforço na estabilidade (ALMEIDA & MARQUES, 2014).

Figura 7. Mecanismo de instabilidade de aterro reforçado sobre solo mole: expulsão de solo mole de fundação.



Fonte: Palmeira (2018)

Qualquer que seja o mecanismo de ruptura, seja que envolva aterro com ou sem reforço, podem provocar consideráveis prejuízos associados a trabalhos de restauração, atraso e danos a estruturas vizinhas (PALMEIRA et al., 2001).

2.2.5 Casos no Brasil

CASO 1: Entre os anos 1975 e 1993 foi construída uma rodovia que ligaria o estado de Bahia e Sergipe, a estrada Linha Verde com 356 km, o projeto teve a construção

de várias pontes que atravessam por solo reforçado, isto devido ao perfil do subsolo típico da região que apresentava camadas de argila orgânica mole entre 2 e 14 m de espessura, sendo necessário a construção de aterros reforçados com alturas variando de 1,75 a 7,30 m, com materiais de reforço de dois tipos de geotêxtis com baixos valores de rigidez à tração, um deles não tecido de filamentos contínuos de poliéster e agulhado, e o outro um geotêxtil tecido de polipropileno, causando que o confinamento pelo solo de aterro aumentara consideravelmente. O projeto em questão teve 4 pontos críticos, e para cada ponto teve diversas soluções, desde construir o aterro reforçado diretamente sobre a camada de fundação e a de construir o aterro reforçado sobre estacas, com e sem utilização de laje de concreto na base do solo reforçado, as Figura 8 e Figura 9 apresentam as características geométricas das soluções adotadas no projeto (PALMEIRA et al., 2001).

Figura 8. Aterro reforçado diretamente no solo da fundação

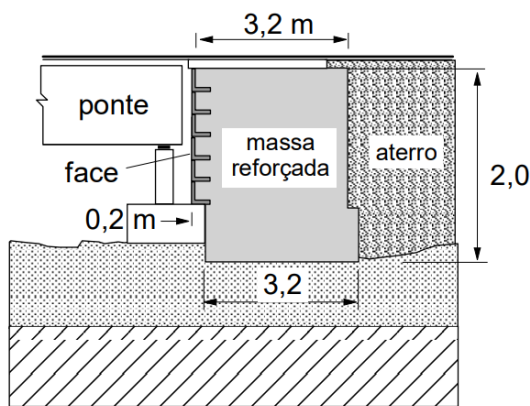
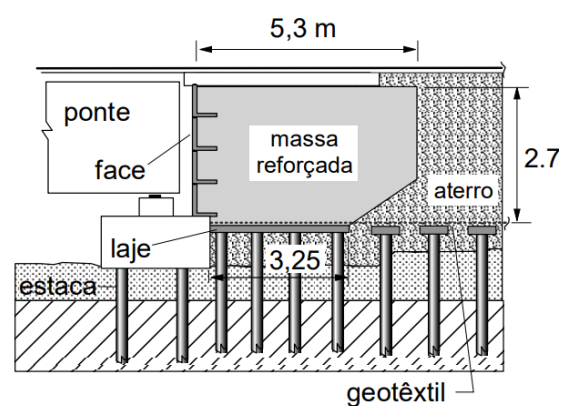


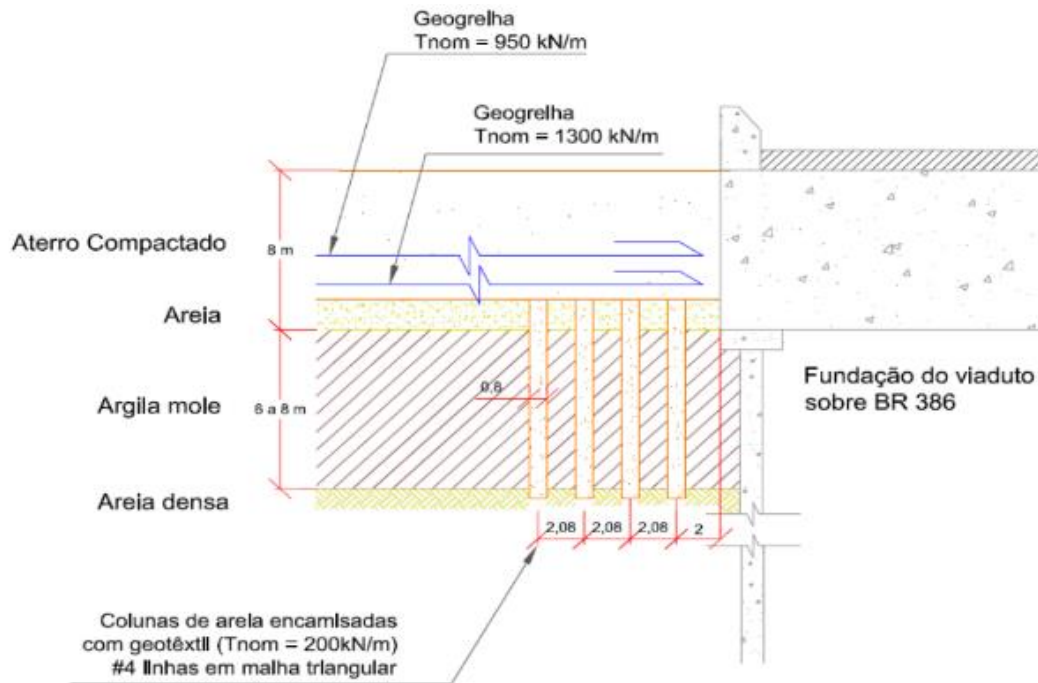
Figura 9. Aterro reforçado sobre estacas



Fonte: (PALMEIRA ET AL., 2001)

CASO 2: A duplicação da rodovia BR-101, no litoral de Santa Catarina, envolveu também a necessidade de execução de diversos aterros sobre depósitos de solos moles, incluindo aterros de encontros de pontes sobre canais. A camada de solo mole na região da obra consiste de 5,5 m de altura, separada de outra camada de argila arenosa com cerca de 2 m de espessura. Os resultados de ensaios de campo mostraram que a resistência não-drenada variava entre 4 e 15 kPa, e os ensaios de dissipação em piezocone no local resultaram em valores de coeficiente de adensamento horizontal variando entre 10 e 28 m²/ano. Foram colocados sistema de drenos verticais com geossintéticos para acelerar o processo de adensamento do solo mole, os drenos tinham dimensões de 100x5 mm, consistindo em um núcleo plástico ranhurado envolto em geotêxtil não tecido, e foram instalados com um espaçamento de 1,35 m. No processo de duplicação da pista, uma

Figura 12. Características geométricas do reforço do aterro



Fonte: Schnaid et al., (2008)

2.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE ARGILAS MOLES

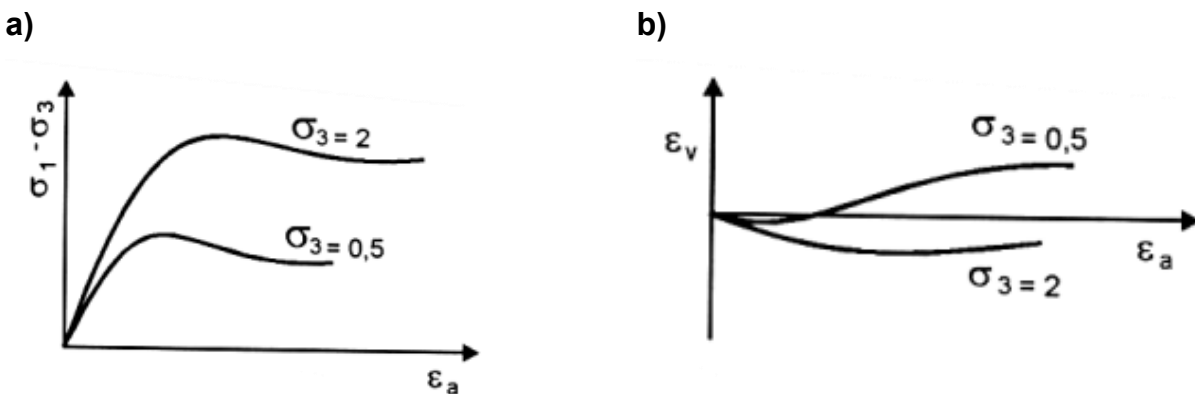
2.3.1 Resistência ao cisalhamento de solos

Segundo Pinto (2006) define-se a resistência ao cisalhamento de um solo como a máxima tensão de cisalhamento que um solo pode suportar sem sofrer ruptura. A resistência do solo depende dos fenômenos que acontecem no interior do solo, conhecidos como o atrito e a coesão. O Atrito do solo influencia diretamente no valor da resistência, pois este envolve o deslocamento de um grande número de grãos que se deslizam entre si, acomodando-se em vazios que encontram no percurso. No caso das argilas, o número de partículas é muito maior, o que ocasiona uma baixa condutividade hidráulica, pois as partículas de argila são envolvidas por moléculas de água quimicamente ligadas a elas, causando que a parcela de força transmitida em cada contato de partículas seja extremamente reduzida e insuficiente para remover essas moléculas de água, e são elas as responsáveis pela transmissão de forças. A coesão de solos define-se como a atração química entre partículas, e em solos argilosos está presente a coesão aparente, que na

realidade é um fenômeno do atrito, na qual a tensão normal é a que a determina e é consequente da pressão capilar.

Segundo Sousa Pinto (2006) as argilas pré adensadas, são argilas que em seu histórico já passaram por tensões efetiva superiores das que atua sobre as mesmas em dias atuais, indicam um pico de tensão de ruptura definido (Figura 13.a). A variação do seu volume passa por um momento inicial de expansão até atingir a tensão efetiva de pré adensamento, a partir deste ponto, o solo se comprime (Figura 13.b).

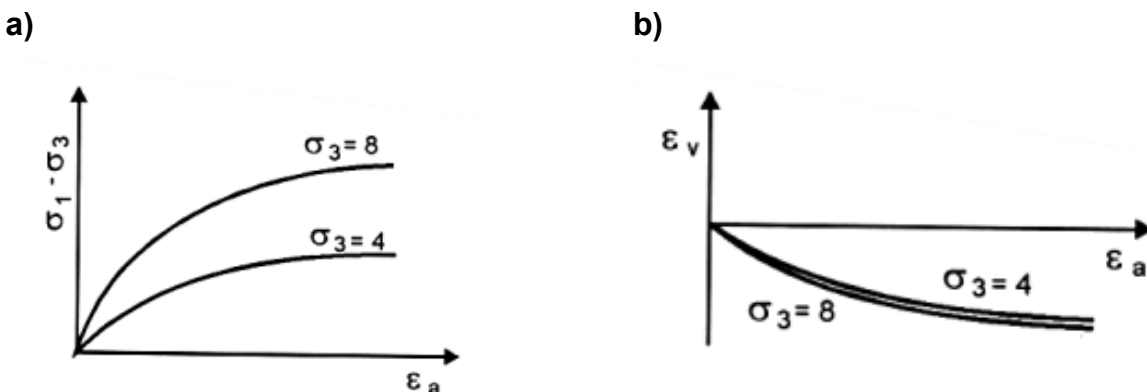
Figura 13 – Curva típicas de argilas pré-adensadas a partir de ensaios triaxiais drenados. a) curva tensão-deformação. b) variação volumétrica



Fonte: Sousa Pinto (2006)

Sousa Pinto (2006) comenta ainda sobre o comportamento tensão x deformação em argilas normalmente adensadas, as argilas nesta situação demonstram uma curva sem pico de tensão de ruptura definido (Figura 14.a), a resistência tende a crescer de acordo com a tensão confinante. Pode-se observar que durante o carregamento a argila apresenta redução do seu volume, em estado compressão desde o início (Figura 14.b).

Figura 14 - Curva típicas de argilas normalmente-adensadas a partir de ensaios triaxiais drenados. a) curva tensão-deformação. b) variação volumétrica



Fonte: Sousa Pinto (2006)

Sousa Pinto (2006) afirma que os solos argilosos moles têm características de alta compressibilidade, elevado índice de vazios e possuem baixa capacidade de suporte, podem apresentar camadas de grandes espessuras de até 10 m, e por sua condição de sedimentação recente, estarão normalmente adensados, e também dependendo da quantidade de matéria orgânica podem ser materiais muito deformáveis e permeáveis, que permitiriam que recalques ocorram rapidamente.

Almeida e Marques (2014) falam sobre a resistência não drenada dos solos moles, que é influenciada pelo atrito, a plasticidade da argila, a heterogeneidade e anisotropia da argila. A análise da resistência não drenada da argila de fundação, se faz em base a tensões totais, diferente das análises em tensões efetivas que são mais complexas, pois requerem a estimativa das poropressões geradas na camada de argila mole. Existem vários ensaios utilizados para definir a resistência, entre eles estão, o ensaio de palheta, de piezocone, ensaio triaxial e de cisalhamento simples, sendo este último usado com as técnicas de recompressão e aplicado sobre argilas mecanicamente sobre adensadas.

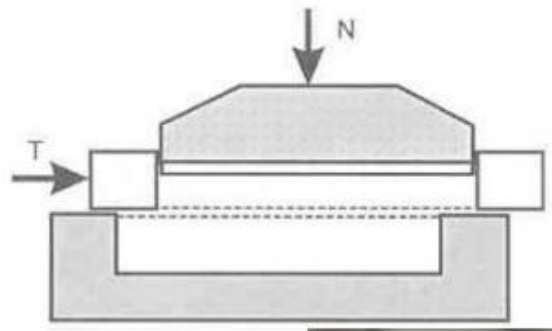
2.3.2 Ensaio de Cisalhamento Direto Drenados

O ensaio de cisalhamento direto se baseia no critério de Mohr-Columb, que expressa que não há ruptura se a tensão de cisalhamento não ultrapassar um valor dado pela expressão $c + f \cdot \sigma$, sendo c e f constantes do material, ou seja, aplica-se uma tensão normal num plano e verifica-se a tensão cisalhante que provoca a ruptura (SOUSA PINTO, 2006).

No ensaio, a mostra de solo a ser ensaiada é colocada em uma caixa bipartida-metade de sua altura fica na parte inferior da caixa e a outra metade fica na parte superior. Esta caixa bipartida será a responsável por permitir o deslocamento da sua parte superior em relação a inferior, levando o solo à ruptura, que ocorrerá no plano pré-determinado entre as partes da caixa.

O ensaio é realizado aplicando-se previamente uma tensão normal perpendicular ao plano principal da amostra e uma força T no sentido paralelo ao plano de cisalhamento, o que implicará na atuação de uma tensão cisalhante τ , que será responsável pela ruptura, como apresenta a Figura 15 (SOUSA PINTO, 2006).

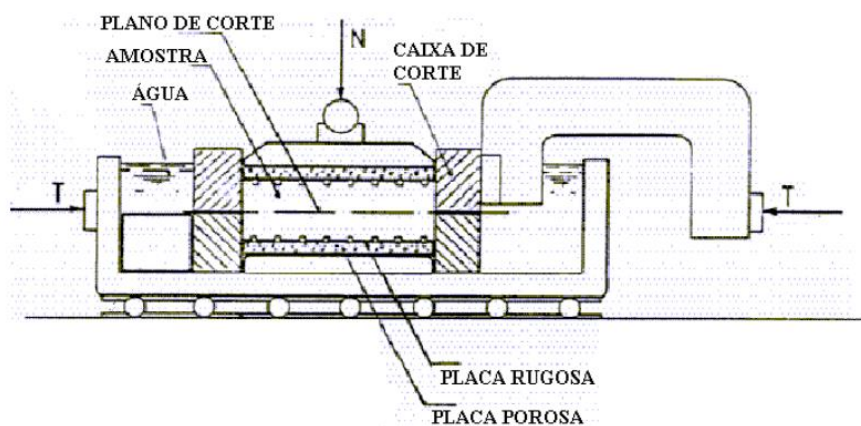
Figura 15. Ensaio de cisalhamento direto: tensões atuantes



Fonte: Sousa Pinto (2006).

Segundo Das e Sobhan (2014) o ensaio de cisalhamento drenado é realizado em um corpo de prova de solo saturado, mantendo a taxa de carregamento lenta o suficiente para que o excesso de poropressão gerado no solo seja dissipado completamente pela drenagem. A água nos poros do corpo de prova é drenada por meio de duas pedras porosas como apresenta a Figura 16. Ressalta-se que o ensaio de cisalhamento direto sem drenagem é limitado, pois não existe forma de impermeabilizar totalmente o sistema, além de que não permite medir deformações no interior do corpo de prova, nem a tensão efetiva normal sobre o plano de cisalhamento (SOUSA PINTO, 2006).

Figura 16. Ensaio de cisalhamento direto: Drenagem da amostra



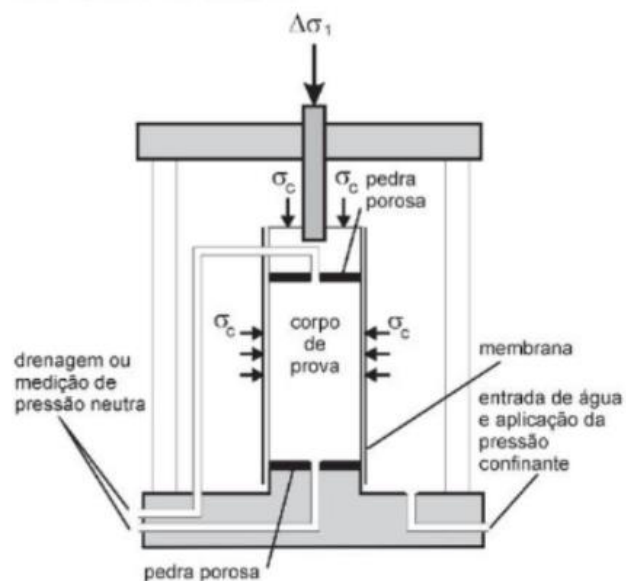
Fonte: Marangon (2018).

2.3.3 Ensaio Triaxial CU

Segundo Sousa Pinto (2006) o ensaio de compressão triaxial convencional consiste na aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento axial

sobre um corpo de prova cilíndrico do solo que se encontra dentro de uma câmara de ensaio como mostra a Figura 17, e envolto por uma membrana de borracha. A câmara enchida com água, gerando uma pressão confinante que atua em todas as direções. Para o ensaio triaxial adensado não drenado (CU), aplica-se a pressão confinante e deixa-se dissipar a pressão neutra correspondente. A pressão confinante adensa o corpo de prova para em seguida carregar axialmente sem drenagem, obtendo assim a resistência não drenada em função da tensão de adensamento. Este tipo de ensaio é muito empregado, pois permite determinar a envoltória de resistência em termos de tensão efetiva num prazo menor.

Figura 17. Esquema da câmara de ensaio triaxial



Fonte: Sousa Pinto (2006)

Diferentemente do ensaio adensado drenado (CD), no ensaio adensado não drenado (CU) as tensões principais efetiva e total não são iguais, uma vez que a poropressão na ruptura é medida nesse ensaio, as tensões principais podem ser analisadas desde a tensão maior principal total e efetiva na ruptura até a tensão menor principal total e efetiva na ruptura (DAS & SOBHAN, 2014).

2.3.4 Parâmetros de resistência típicos

A partir dos resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento de vários pesquisadores, se obteve variedade de parâmetros típico de resistência de solos moles,

como apresenta a Tabela 2. De forma geral, as turfas e solo orgânico apresentam parâmetros de resistência menores que as argilas inorgânicas.

Tabela 2. Parâmetros típicos de várias pesquisas sobre resistência ao cisalhamento de solos moles

| Autor | Tipo de ensaio | Classificação do Solo | % de matéria Orgânica | Intercepto coesivo (kPa) | Atrito (φ°) |
|---------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| (PÓVOA, 2016) | Triaxial CU | OH | 7,05 | 5,5 | 23,5° |
| | Triaxial CU | OH | 6,8 | 12 | 16,4° |
| (BELLO, 2004) | Triaxial CU | Turfa | 67 | 12 | 15° |
| (ROCHA, 2019) | Triaxial CD | CH | - | 29,0 | 28,0 |
| | Cisalhamento Direto | CH | - | 33,9 | 32,8 |
| (WERLANG & PICCOLO, 2013) | Cisalhamento direto | Argila siltosa | - | 48,8 | 29,39 |
| | | Argila média plasticidade | - | 12,7 | 35,2 |
| | | Argila de baixa plasticidade | - | 12,25 | 36,54 |
| | | Argila arenosa | - | 8,2 | 45,36 |

2.4 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA INTERFACE ARGILA-GEOTÊXTIL

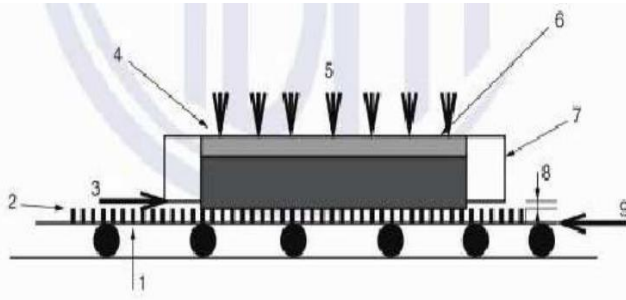
2.4.1 Ensaio de cisalhamento direto

A norma brasileira NBR ISO 12957-1 (ABNT, 2013) estabelece o método de ensaio para determinar um índice das características de atrito entre os geotêxtis e o solo, dentro de densidade e teor de umidade especificado, e sob tensão normal e velocidade de deslocamento constantes, utilizando aparelhagem de cisalhamento direto. O ensaio consiste em submeter o geossintético a cisalhamento direto na sua superfície de contato com o solo em uma caixa do equipamento, e assim determinar o ângulo de atrito e a coesão aparente (intercepto coesivo) na interface. A norma permite usar dois tipos de caixa de cisalhamento, com área constante e com área de contato que reduz durante o ensaio como é apresentado nas Figura 18 e Figura 19.

O corpo de prova deve ser colocado sobre um suporte rígido horizontal, na parte inferior da caixa, e o geossintético deve ser fixado por garras na parte frontal, fora da área de cisalhamento. Na região de atrito, deve ser fixado por colagem ou comum suporte de

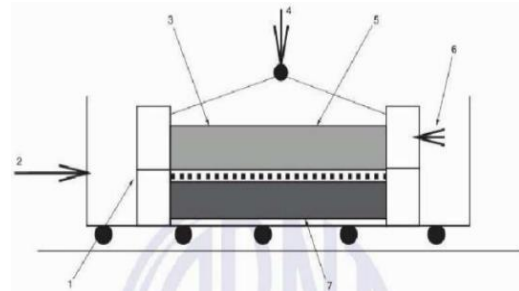
atrato padrão, como uma folha de lixa. Depois de montar o sistema caixa–solo-geotêxtil, inicia-se o ensaio com os dispositivos de medida de carregamento e deslocamento, aplicando-se a força normal para obter as pressões desejadas.

Figura 18. Ensaio cisalhamento direto com área constante



- 1 Base rígida
- 2 Corpo de prova de geotêxtil
- 3 Reação horizontal
- 4 Sistema de carregamento
- 5 Carga normal
- 6 Amostra de solo
- 7 Caixa de cisalhamento rígida
- 8 Espaçamento de no máximo 0,5 mm
- 9 Força horizontal

Figura 19. Ensaio de cisalhamento direto com área que reduz durante o ensaio



- 1 Caixa-padrão de cisalhamento (300 x 300 mm)
- 2 Força horizontal
- 3 Corpo de prova de geotêxtil
- 4 Carga normal
- 5 Amostra de solo
- 6 Reação horizontal
- 7 Suporte rígido para o corpo de prova

Fonte: NBR ISO 12957-1 (ABNT, 2013).

A utilização de reforço geossintético pode aumentar significativamente o fator de segurança da obra, sendo particularmente atrativa para diminuir a espessura de solo mole e a largura da base do aterro (tipicamente, inferior a 0,7). Para solos moles mais espessos, a contribuição da presença do reforço é pequena, uma vez que, nesse caso, restringe-se à mobilização de uma tensão cisalhante estabilizadora na interface com o solo de fundação, que geralmente aumenta pouco o fato de segurança global da obra. A presença de reforço também promove uma distribuição de tensões mais favorável no solo moles, uma vez que parte das tensões cisalhantes em sua superfície é absorvida pelo reforço (PALMEIRA, 2018).

2.4.2 Parâmetros de resistência da interface argila-geotêxtil

A partir dos resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento de vários pesquisadores, se obteve variedade de parâmetros típicos de resistência de solos moles na interface de argila-geotêxtil, utilizando o ensaio de cisalhamento direto como apresenta a Tabela 3.

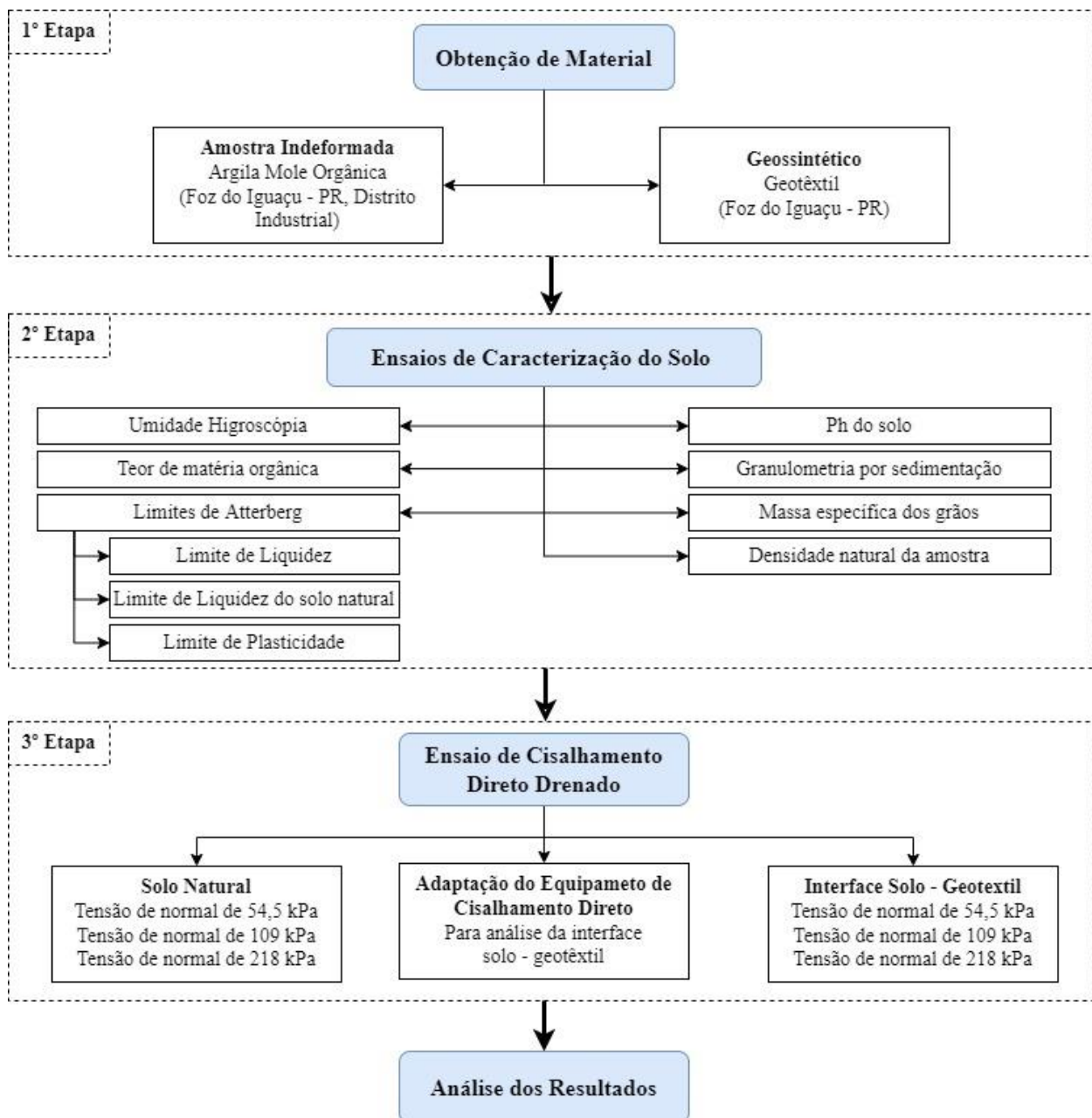
Tabela 3. Parâmetros típicos de várias pesquisas sobre resistência ao cisalhamento da interface argila-geotêxtil

| Autor | Tipo de ensaio | Classificação do solo | Adesão (kPa) | Atrito (φ°) |
|---------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|--|
| (Nguyen & Ho, 2021) | Cisalhamento direto | MH | 4,70 | 62,6 |
| (Penha, 1999) | Cisalhamento direto | CL | 7,6 | 24,4 |
| | | CL | 5,2 | 27,6 |
| | | CL | 4,6 | 27,7 |
| | | CL | 8,0 | 27,7 |

3 MATERIAIS E METODOS

Este capítulo apresenta os detalhes gerais sobre a área estudada, as características dos materiais, os procedimentos e métodos realizados para o presente estudo. A metodologia aplicada tem caráter experimental, a mesma se divide em três etapas principais: Obtenção de material; Ensaio de caracterização do solo; Ensaio de cisalhamento direto drenado na argila mole orgânica e na interface solo-geotêxtil. A Figura 20 mostra os detalhes do procedimento adotado.

Figura 20. Fluxograma da metodologia do trabalho

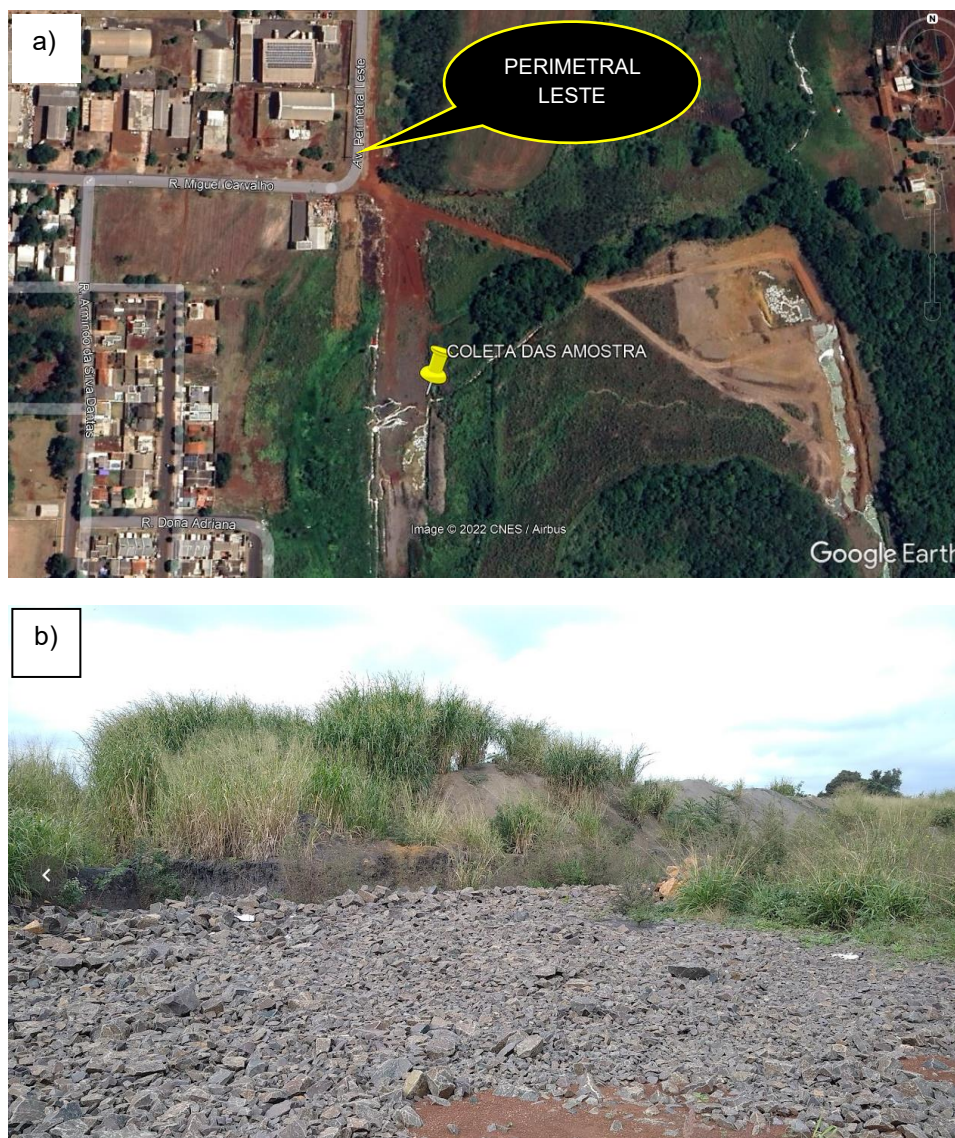


Fonte: Autor, 2022

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é situada na região leste de Foz do Iguaçu-PR no distrito industrial Morumbi (Figura 21.a), região esta que está passando por grandes obras rodoviárias, obra está que desviará o trânsito pesado do centro da cidade, rodovia esta chamada de Perimetral Leste, nesta região encontramos um depósito de solo mole orgânico, e como pode ser observado na Figura 21.b a tentativa de reforço está sendo realizada com rachão.

Figura 21 – Localização da área de estudo



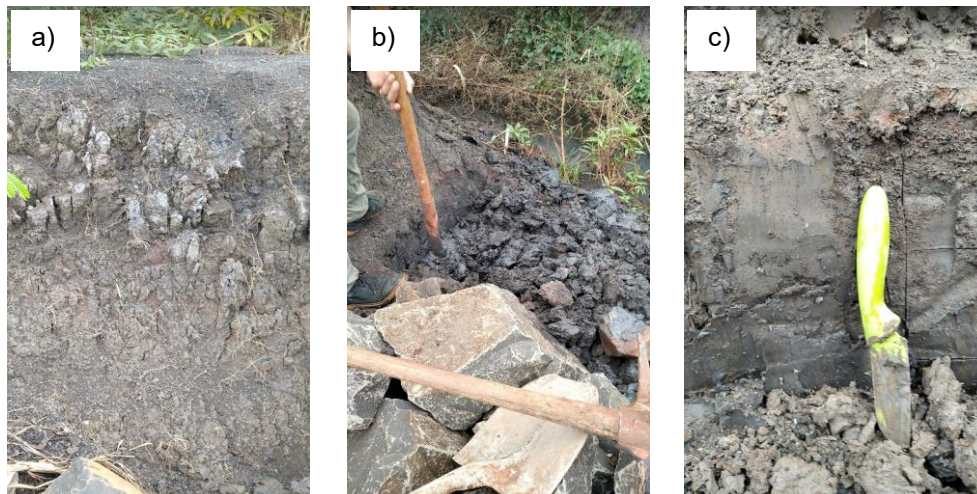
Fonte: Google Earth; Autor, 2022

3.2 MATERIAIS

3.2.1 Coleta de amostras indeformada

A coleta de amostras indeformada tomou como primeiro passo a verificação da condição climática, respeitando uma condição favorável (sem incidência de chuva) pelo menos a três dias, o segundo passo a escolha do local dentro da área de estudo para poder realizar a extração (Figura 22), levando em conta a representativa da amostra, assim como as condições de acesso, uma vez que se faz necessário o uso de ferramentas específicas para extração, e também recipientes de armazenagem, estes preparados previamente para se manter a temperatura.

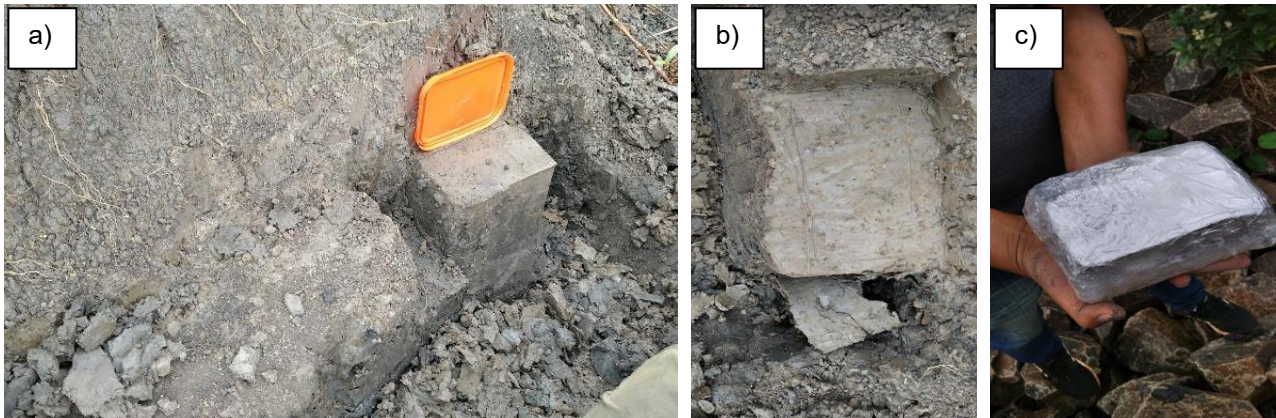
Figura 22 – Extração da amostra indeformada. a) Escolha do local. b) Limpeza do local. c) Início da extração da amostra.



Fonte: Autor, 2022

A coleta da amostra foi feita em uma escavação lateral tipo trincheira e em formato de bloco, seguindo as recomendações da NBR 9604 (ABNT, 2016). Após a escavação, segue os procedimentos da amostragem primeiro com uma faca nas laterais e fundo, para posteriormente talhar o solo utilizando-se um fio de aço (corda de guitarra) tomando o cuidado para não perturbar a amostra. Imediatamente após a coleta, a amostra foi envolvida com uma primeira camada de papel filme, segunda camada de papel alumínio, terceira camada de papel filme, logo após este procedimento a amostra é inserida em um recipiente com tampa forrado e preenchido com isopor (Figura 23).

Figura 23 – Procedimento de extração. a) e b) Talhagem. c) Armazenagem da amostra.



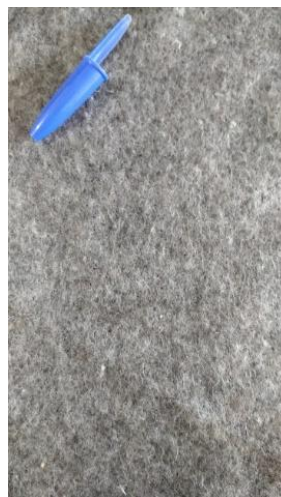
Fonte: Autor, 2022

Foram coletadas dez amostras, e estas foram transportadas seguindo as recomendações da NBR 9604 (ABNT, 2016) a sala de câmara úmida do Laboratório de Geotécnica e Solos (LAGEO) da UNILA, onde foi mantida a uma temperatura controlada de 20 a 22°C.

3.2.2 Características do Geotêxtil

O geotêxtil não tecido aplicado nesta pesquisa (Figura 24), foi encontrado no comercio de Foz do Iguaçu-PR, conhecido também como manta BIDIM, e suas propriedades mecânicas são apresentados na Tabela 4.

Figura 24 – Geotêxtil não tecido



Fonte: Autor, 2022

Tabela 4 – Propriedades do geotêxtil empregado na pesquisa

| Propriedades | Valor |
|--|--------------|
| Espessura Nominal (mm) | 1,99 |
| Massa por unidade de área (g/m ²) | 210 |
| Resistência à tração na direção longitudinal (kN/m) | 10 |
| Resistência à tração na direção transversal (kN/m) | 9 |
| Deformação na resistência à tração na direção longitudinal | >50 |
| Deformação na resistência à tração na direção transversal | >50 |

Fonte: Autor, 2022

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Ensaios de caracterização física

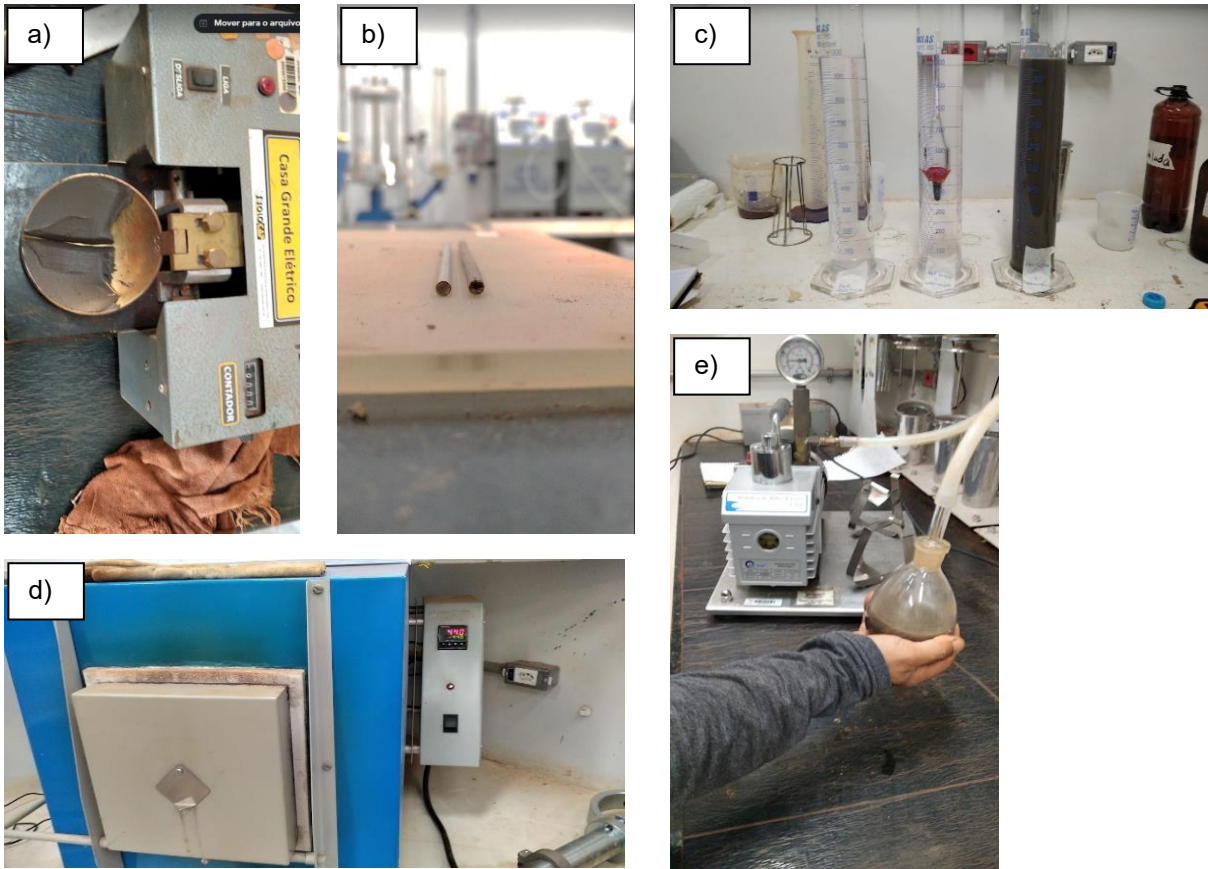
Os procedimentos adotados para a realização da caracterização física da amostra foram seguidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), assim como recomendações de referências da literatura, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Normas aplicadas aos ensaios realizados.

| Ensaio realizado | Norma / Referência |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Preparação de amostra | NBR 6457 (ABNT, 2016a) |
| Limite de Liquidez (LL) | NBR 6459 (ABNT, 2016b) |
| Limite de Plasticidade (LP) | NBR 7180 (ABNT, 2016c) |
| Granulometria por sedimentação | NBR 7181 (ABNT, 2016d) |
| Massa específica dos grãos | NBR 6458 – Anexo B (ABNT, 2017) |
| Teor de matéria orgânica | NBR 13600 (ABNT, 1996) |
| Ph da amostra | (Bowles, 1980) |

Tais ensaios permitiram classificar a amostra de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), Associação Norte-Americana de Especialistas Rodoviários e Transporte (AASHTO) e pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). A Figura 25 mostra os ensaios executados, todos estes foram realizados no LAGEO - UNILA, tomando-se o cuidado com a temperatura e as recomendações das normas vigentes.

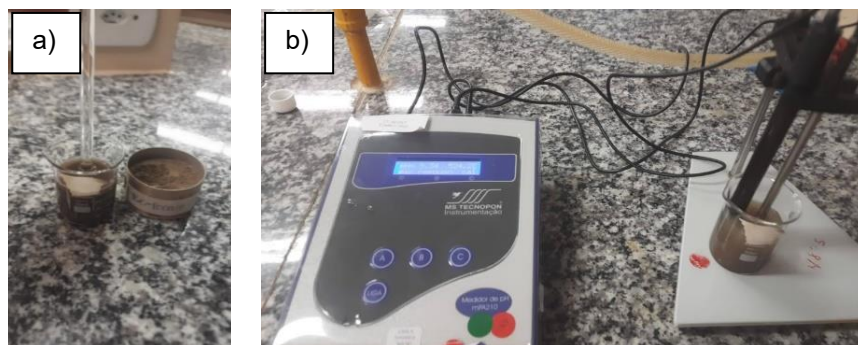
Figura 25 – Ensaio para caracterização física. a) LL. b) LP. c) granulometria por sedimentação. d) Teor de matéria orgânica. e) Massa específica dos grãos.



Fonte: Autor, 2022

A análise de pH do solo (Figura 26) foi realizada no laboratório de química da UNILA, onde se fez uso do equipamento phmetro modelo mPa-210 – Tecnopon, o qual antes da realização do ensaio, se fez a calibração do equipamento, e após a decantação do solo diluído em água destilada 50 ml, se fez a inserção do leitor de pH.

Figura 26 – Análise de pH do solo. a) Decantação do solo. b) Leitura do pH através do phmetro.

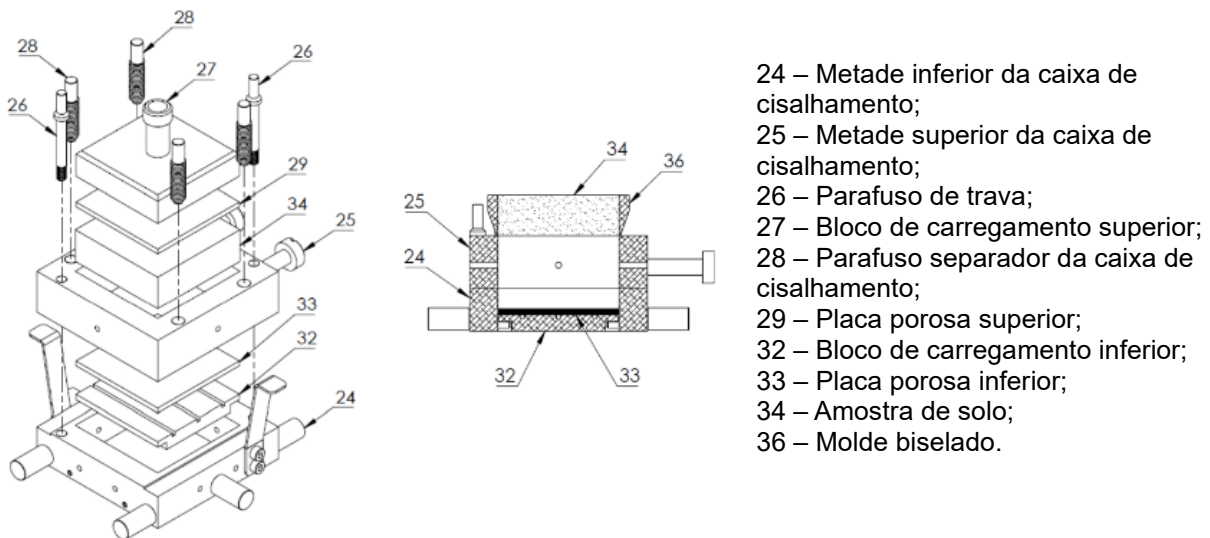


Fonte: Autor, 2022

3.3.2 Ensaio de cisalhamento direto

Este estudo fara uma análise da amostra de solo sobre as tensões de 54,5; 109 e 218 kPa seguindo as recomendações da American Society for Testing and Materials (ASTM) norma D3080 (ASTM, 2012). A Figura 27 nos mostra as peças que compõem a caixa de cisalhamento, a caixa utilizada neste estudo tem dimensões aproximadas de 60,0 x 60,0 x 19,73 mm, com um volume de 71028 mm³, com uma massa de 49,18 g, parâmetros esses que serviram posteriormente para calcular a densidade natural de cada amostra.

Figura 27 – Peças do equipamento utilizado – Cisalhamento Direto da Owntec



Fonte: Manual de instruções (OWNTEC)

Inicialmente a amostra é retirada da câmara úmida, para a sala onde se encontra o equipamento de cisalhamento direto, onde se procede a preparação do corpo de prova. A Figura 28.a mostra o processo do solo talhado e inserido no molde biselado, cabe salientar que a superfície de contato tanto do molde biselado quanto da caixa de cisalhamento foi aplicado uma pequena quantidade de vaselina solida para facilitar o deslizamento da amostra (Figura 28.b), tal operação foi realizada previamente antes de talhar a amostra, tomando-se o total cuidado com a amostra para não alterar a mesma, a amostra foi talhada com o auxílio de um fio de aço e espátula, aos poucos acomodada ao molde biselado, processo este que requer paciência e tempo, ao final, o processo fica demonstrado de acordo com as Figura 28.c e d.

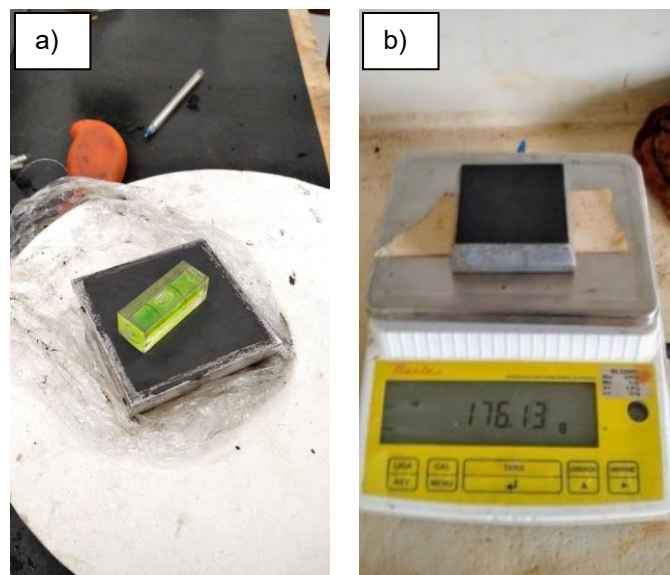
Figura 28 – Processo do solo talhado e inserido no molde biselado. a) Amostra talhada inserida ao molde biselado. b) Deslizamento do solo sobre o molde biselado. c) e d) Detalhes do processo concluído



Fonte: Autor, 2022

Quando a amostra se encontrava totalmente inserida ao molde biselado iniciou-se o processo de corte e nivelamento (Figura 29.a). Uma quantidade de amostra é retirada no processo de nivelamento para obtenção de umidade, e logo após o molde biselado mais solo é levado a balança de precisão e anotado sua massa (Figura 29.b), tendo os dados de volume e massa do molde biselado (tais medidas foram obtidas previamente) pode-se calcular a densidade natural da amostra, este processo se repetiu para os três ensaios de cisalhamento direto do solo natural.

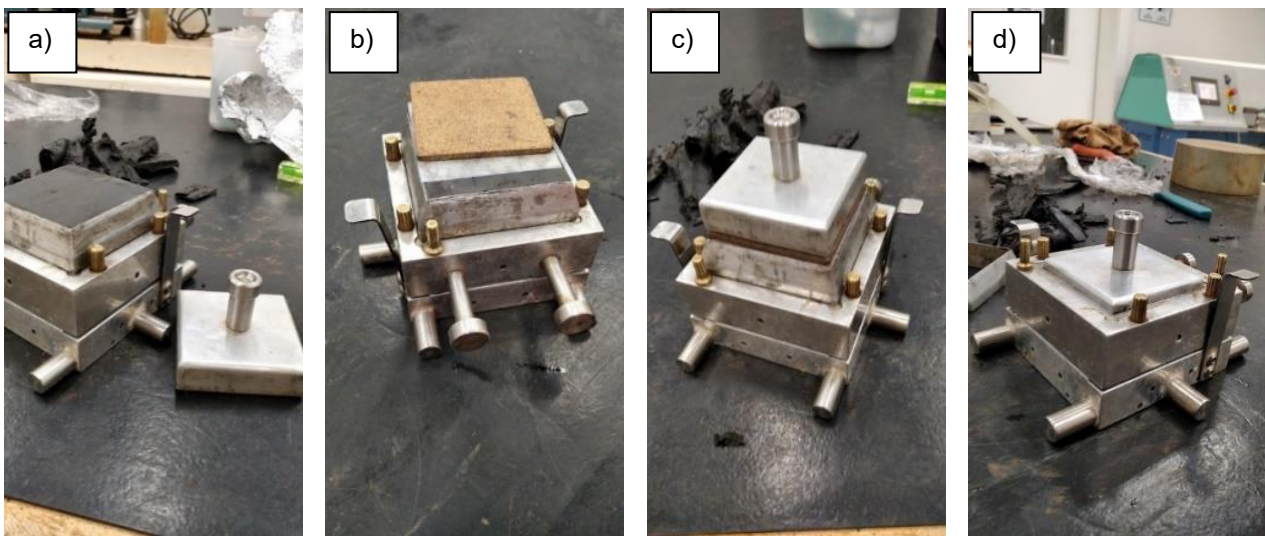
Figura 29 - Nivelamento da amostra



Fonte: Autor, 2022

Posteriormente realizou-se a extração do solo inserido ao molde biselado para a caixa de cisalhamento (Figura 30.a), entretanto foi montado previamente, o conjunto com a inserção da pedra porosa saturada e papel filtro saturado, tanto para a parte inferior como para a parte superior da amostra como mostra a Figura 30.b, e sobre esse conjunto foi posto o bloco de carregamento superior, e aplicado uma pequena força sobre o mesmo para o deslizamento da amostra sobre a caixa de cisalhamento, como mostra a Figura 30.c.

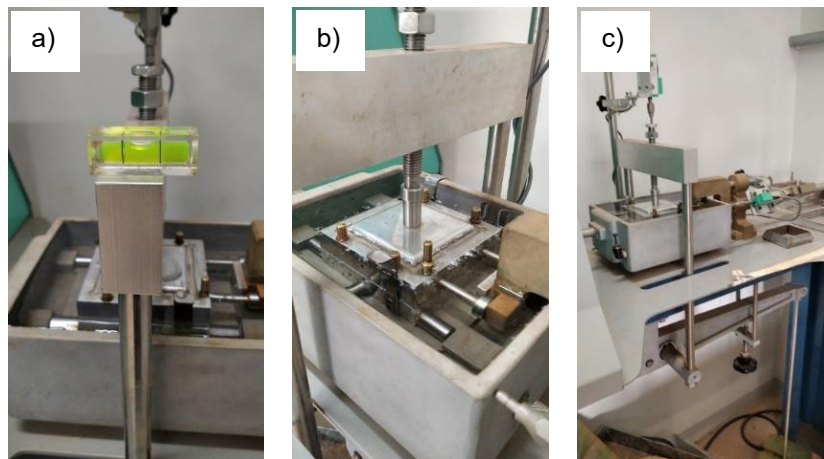
Figura 30 – Processo de inserção da amostra sobre a caixa de cisalhamento. a) Posicionamento do molde biselado sobre a caixa de cisalhamento. b) Montagem do conjunto, papel filtro e pedra porosa. c) Processo de deslizamento da amostra sobre a caixa de cisalhamento. d) Processo concluído.



Fonte: Autor, 2022

Com a caixa de cisalhamento montada, o conjunto foi inserido a caixa deslizante do equipamento, a Figura 31.a mostra o processo de inserção, cabe mencionar o cuidado para ajustar o espaçamento entre as caixa bipartidas (superior e inferior) ajuste este realizado através dos parafusos de ajustes, para evitar o atrito entre as caixas, e afetar as leituras de tensão de cisalhamento, este deslocamento foi ajustado para 1,0 mm de deslocamento entre as caixas, posteriormente a caixa de cisalhamento foi inserida na caixa de deslizamento e nivelado o conjunto como mostra a Figura 31.b, na sequencia foi inundada completamente com água destilada saturando a amostra (Figura 31.b), e finalmente o conjunto é carregado com a carga correspondente à tensão normal desejável (54,5 kPa, 109 kPa e 218 kPa), cargas de 2, 4, e 8 kg (Figura 31.c).

Figura 31 – Montagem da caixa de cisalhamento no equipamento.



Fonte: Autor, 2022

Com a caixa de cisalhamento inserida no equipamento iniciou o processo de adensamento do solo, inserindo a carga correspondente ao ensaio, o tempo de duração desta etapa foi de 24 horas. Após o adensamento se ajustou os parâmetros de ensaio, a velocidade de cisalhamento utilizada foi a de 0,05 mm/min, tal velocidade foi embasada na revisão da literatura, uma vez que o solo estudado tem comportamento argiloso. A tensão normal aplicada foi variada de 54,5 kPa, 109 kPa e 218 kPa para cada ensaio respectivamente, as leituras foram realizadas de forma automática pelo equipamento. Concluído a etapa de cisalhamento o conjunto é retirado do equipamento, se pode analisar o deslocamento horizontal na amostra Figura 32.

Figura 32 – Amostra Cisalhada.

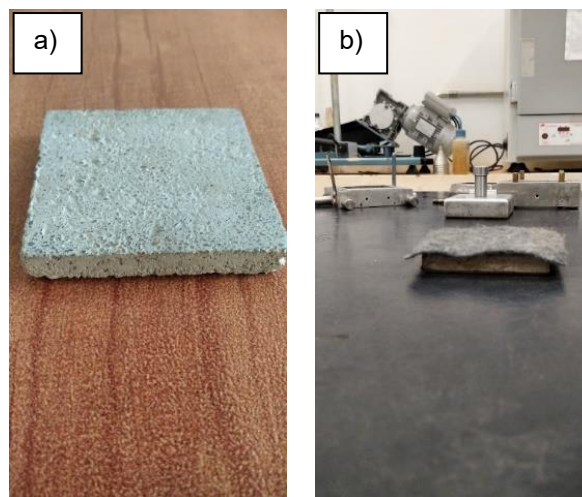


Fonte: Autor, 2022

3.3.3 Ensaio de cisalhamento direto adaptado para interfaces solo-geotêxtil

O processo para verificar a resistência ao cisalhamento na interface solo-geotêxtil, se fez necessário algumas adaptações, a norma NBR ISO 12957-1 (ABNT, 2013) que traz recomendações sobre a análise de resistência ao atrito entre uma areia padrão e geotêxtil, e segundo Das e Sobhan (2014a) e Aguiar (2008), traz recomendações do uso de uma base rígida para análise de resistência da interface solo, portanto se fez uso dessas referencias para adaptar-se a este ensaio, no qual se produziu uma base rígida de concreto (Figura 33.a) nas mesma dimensões da caixa de cisalhamento 6 x 6 cm com uma altura de 0,95 cm, com uma superfície rugosa, a qual posterior foi fixado o geotêxtil com adesivo instantâneo.

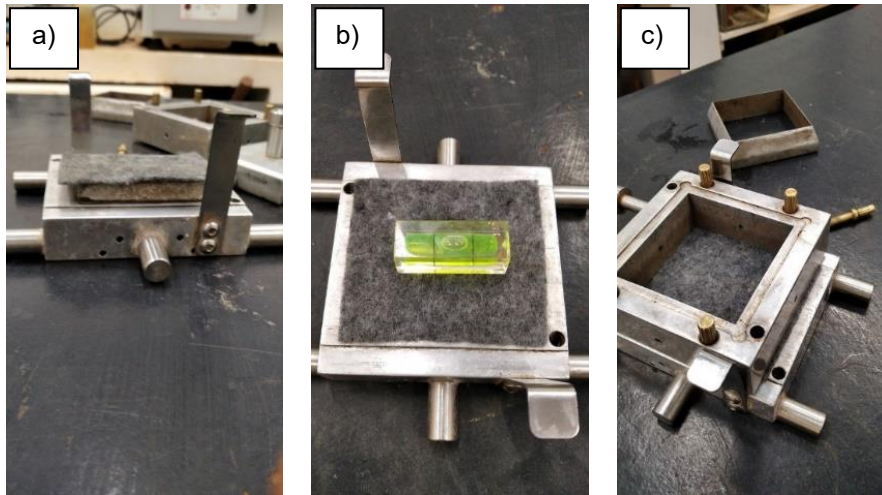
Figura 33 – Adaptação do geotêxtil sobre a base rígida de concreto



Fonte: Autor, 2022

As dimensões do geotêxtil foi transpassada cerca de 0,7cm sobre a base rígida (Figura 33.b), tal procedimento tem como objetivo garantir a superfície de contato solo e geotêxtil no momento do cisalhamento, uma vez que o solo sofrera deslocamento sobre a base rígida, a Figura 34.a mostra a inserção do conjunto base rígida e geotêxtil na metade inferior da caixa de cisalhamento, o nivelamento do geotêxtil sobre a caixa de cisalhamento é de suma importância para o ensaio (Figura 34.b), uma vez que um certo desnivelamento acarreta em alterações de leitura de tensão de cisalhamento, posteriormente foi montado o conjunto da caixa de cisalhamento da mesma forma de uma amostra de solo (Figura 34.c)

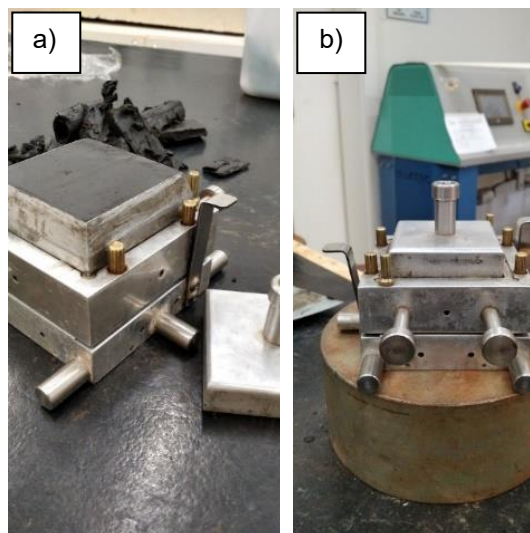
Figura 34 - Características da base rígida



Fonte: Autor, 2022

O seguinte passo é a inserção da amostra de solo sobre o geotêxtil (Figura 35.a), cabe salientar que a espessura da amostra não sofreu alteração, visto que o conjunto solo mais bloco rígido com geotêxtil respeitou a altura da caixa de cisalhamento (Figura 35.b), cabe aqui mencionar o espaçamento de 1,5 mm entre as caixas bipartidas adotado, para evitar o atrito direto entre a caixa e geotêxtil.

Figura 35 – Conjunto solo mais geotêxtil



Fonte: Autor, 2022

Após a montagem da caixa de cisalhamento a mesma é levada a caixa deslizantes e inundada completamente com água destilada, posteriormente inicia o processo de adensamento por 24 horas e depois realiza-se o cisalhamento da amostra. As

tensões normais aplicadas também foram de 54,5 kPa, 109 kPa e 218 kPa, a Figura 36 mostra a amostra depois de cisalhada, pode-se observar o deslocamento do solo sobre o geotêxtil.

Figura 36 – Solo mais geotêxtil depois de cisalhado



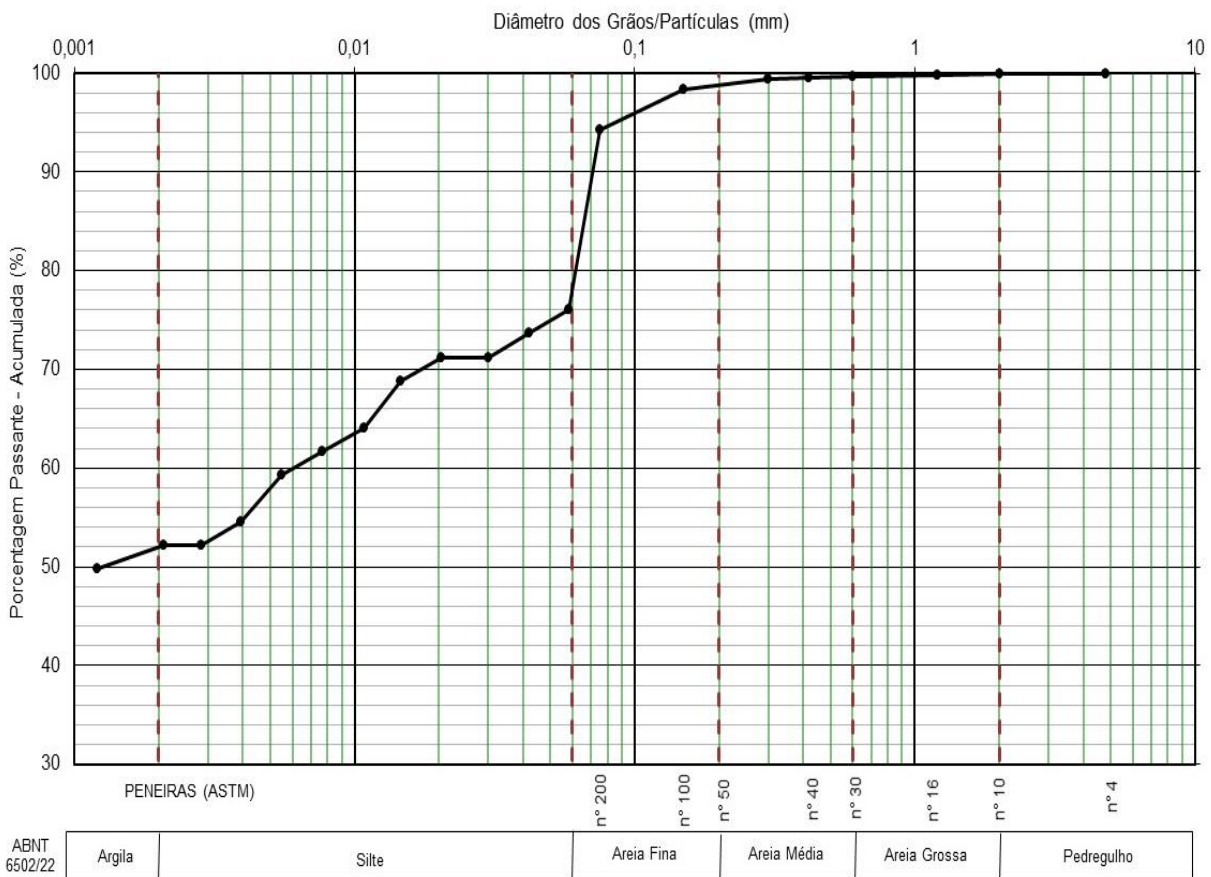
Fonte: Autor, 2022

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

O resultado da granulometria por sedimentação está apresentado na Figura 37, entretanto o tipo de defloculante segundo Bowles (1981) utilizado no processo de sedimentação depende do pH da amostra, e para o solo em estudo o valor de pH é igual a 9,34, sendo este portanto classificado como material base, e sendo assim o defloculante utilizado foi o hexametáfosfato de sódio. A composição do solo se apresenta na Tabela 6, pode-se observar que 52,2% é composto por argila, partículas estas menores que 0,002 mm, sendo assim o solo possui características predominantemente argilosas.

Figura 37 – Curva granulométrica



Fonte: Autor, 2022

Tabela 6 – Distribuição granulométrica conforme NBR 6502 (2022)

| Composição granulométrica | Argila | Silte | Areia Fina | Areia Média | Areia Grossa |
|---------------------------|--------|-------|------------|-------------|--------------|
| Valor (%) | 52,2 | 23,8 | 23,6 | 0,3 | 0,1 |

Como a percentagem passante pela peneira 200 foi de 94,3 pode-se classificar o solo como solo fino, e com um limite de liquidez seco de em estufa de 44,3%, e tendo um teor de matéria orgânica de 7,56%, e a relação de limite de liquidez seco com o limite de liquidez não seco 0,747 pode-se classificar como um solo orgânico de baixa compressibilidade (OL), seu índice de plasticidade é igual à 14,0% sendo assim, um solo de plasticidade média, como mostra a Tabela 7, assim como sua classificação segundo a AASHTO, sobre a massa específica dos grãos Almeida e Marques (2014) comentam que os valores típicos de massa específica dos grãos de solo mole são menores ou igual a 2,6 g/cm³ valor este próximo do valor encontrado.

Tabela 7 - Características da amostra e classificação

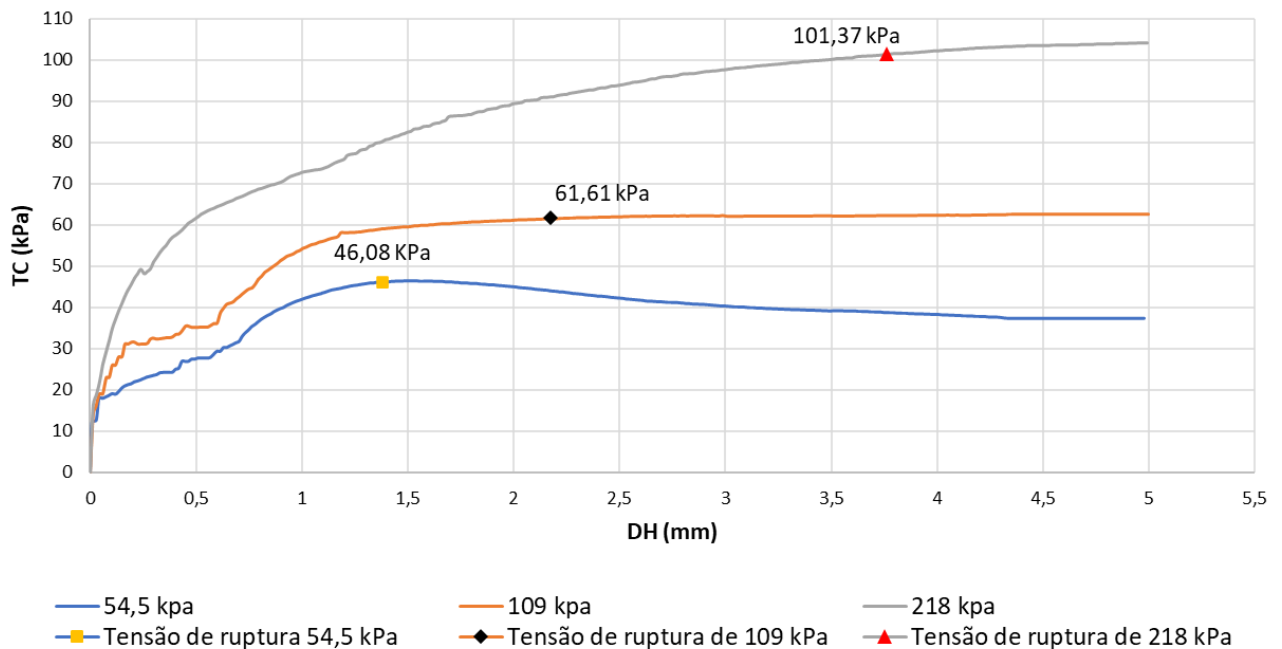
| | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Limite de liquidez – seco em estufa | 44,3 % |
| Limite de liquidez – não seco | 59,3 % |
| Limite de plasticidade | 30,4 % |
| Índice de plasticidade | 14,0 % |
| Umidade | 36,33% |
| Densidade natural | 1,334 g/cm ³ |
| Massa específica dos grãos | 2,63 g/cm ³ |
| Teor de matéria orgânica | 7,56 % |
| pH | 9,34 |
| Classificação SUCS | OL |
| Classificação ASTM | Argila orgânica arenosa |
| Classificação AASHTO | A-7-5 |

4.2 RESISTÊNCIA AO CILSALHAMENTO DA ARGILA ORGÂNICA

Para se realizar esta análise se fez uso do critério de ruptura proposto por De Campos e Carrillo (1995), segundo os autores, em solos que não possuem um pico de ruptura definido se torna a melhor análise avaliar o ponto quando a curva tensão-deslocamento permanece com uma inclinação constante.

Na Figura 38 pode-se observar a curva tensão cisalhante versus deslocamento horizontal da amostra de solo em condições naturais (amostra indeformada), no gráfico está plotado as curvas das tensões normais de 54,5; 109 e 218 kPa, de acordo com o gráfico quanto maior a tensão normal aplicado o maior foi a resposta ao cisalhamento. Pode-se dizer a respeito do comportamento da carga de 54,5 kPa, tendo um pequeno pico tensão, onde o qual está sua tensão de ruptura, analisando somente o comportamento da curva, Sousa Pinto (2006) diz a respeito que esse comportamento se trata de uma argila levemente pré-adensada.

Figura 38 - Curva tensão cisalhante x deslocamento – Argila orgânica



Fonte: Autor, 2022

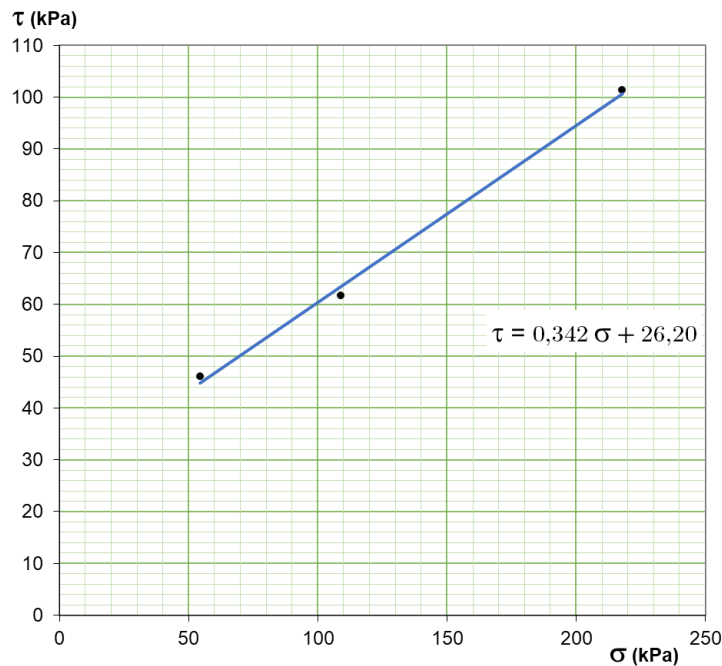
A Tabela 8 nos mostra os valores de moldagem das amostras no ensaio de cisalhamento direto da argila orgânica, tal como a umidade e densidade natural.

Tabela 8 – Densidade natural, valores de moldagem do ensaio de cisalhamento direto – argila orgânica.

| Parâmetro | Tensão | | |
|--|----------|---------|---------|
| | 54,5 kPa | 109 kPa | 218 kPa |
| Umidade (%) | 35,5 | 36,8 | 36,5 |
| Densidade natural (g/cm ³) | 1,338 | 1,306 | 1,303 |

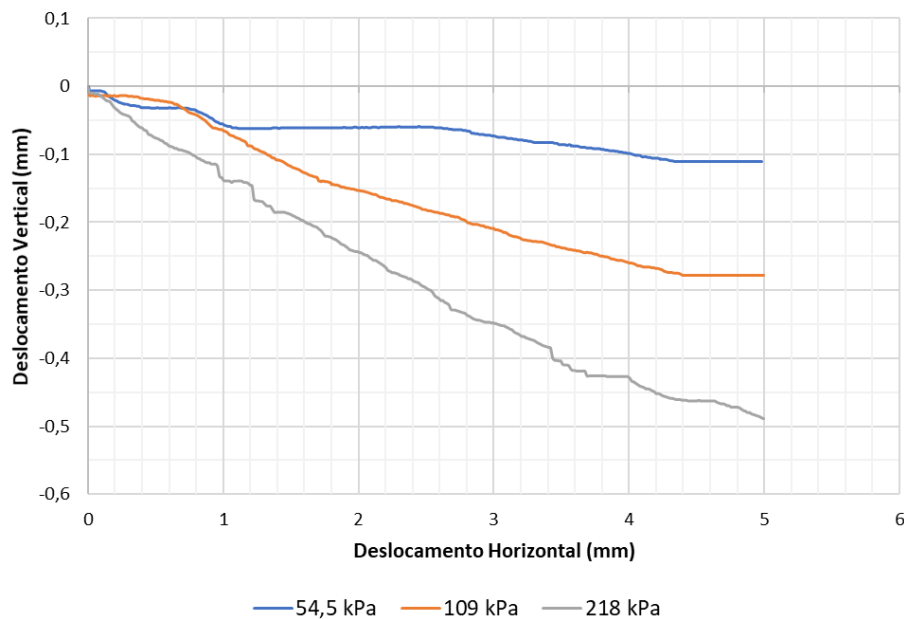
O ângulo de atrito e o intercepto coesivo são extraídas da envoltória de resistência (Figura 39), as envoltórias determina o angulo, através da inclinação que faz com a linha horizontal, e o intercepto coesivo pelo prolongamento da linha inclinada até o encontro com o eixo das ordenadas, isso é, quando a tensão normal é nula. Os valores de ângulo de atrito e intercepto coesivo são respectivamente 18,9° e 26,2 kPa.

Figura 39 - Envoltória de resistência – Argila Orgânica



Fonte: Autor, 2022

Com relação ao deslocamento vertical em função do deslocamento horizontal, isto é, a variação do volume, observamos na Figura 40 a variação de volume das amostras, nota-se uma compressão expressiva com o aumento da tensão normal aplicada, e conforme mencionado na revisão da literatura na Figura 14 Sousa Pinto (2006), traz curvas típicas de variação de volume de argilas, esse comportamento muda de acordo com a condição de a tensão de pré-adensamento, pois segundo o autor as argilas se formam sempre com elevados índices de vazios, e quando elas se apresentam com índices de vazios baixos, estes são consequentes de um pré-adensamento.

Figura 40 – Gráfico da variação da altura x deslocamento horizontal – Argila Orgânica

Fonte: Autor, 2022

A Tabela 9 nos mostra parâmetros de resistência ao cisalhamento (ângulo de atrito e intercepto coesivo) encontrados, e também valores de outros pesquisadores, os valores de ângulo de atrito encontra na referência de pesquisa estão entre 15,87 à 36,54°, os valores de intercepto coesivo estão entre 12,25 à 35,8 kPa, o valor encontrado nesta pesquisa está nesses intervalos o que comprova o valor obtido.

Tabela 9 – Comparativo dos parâmetros de resistência encontrados por outros pesquisados - cisalhamento direto drenado

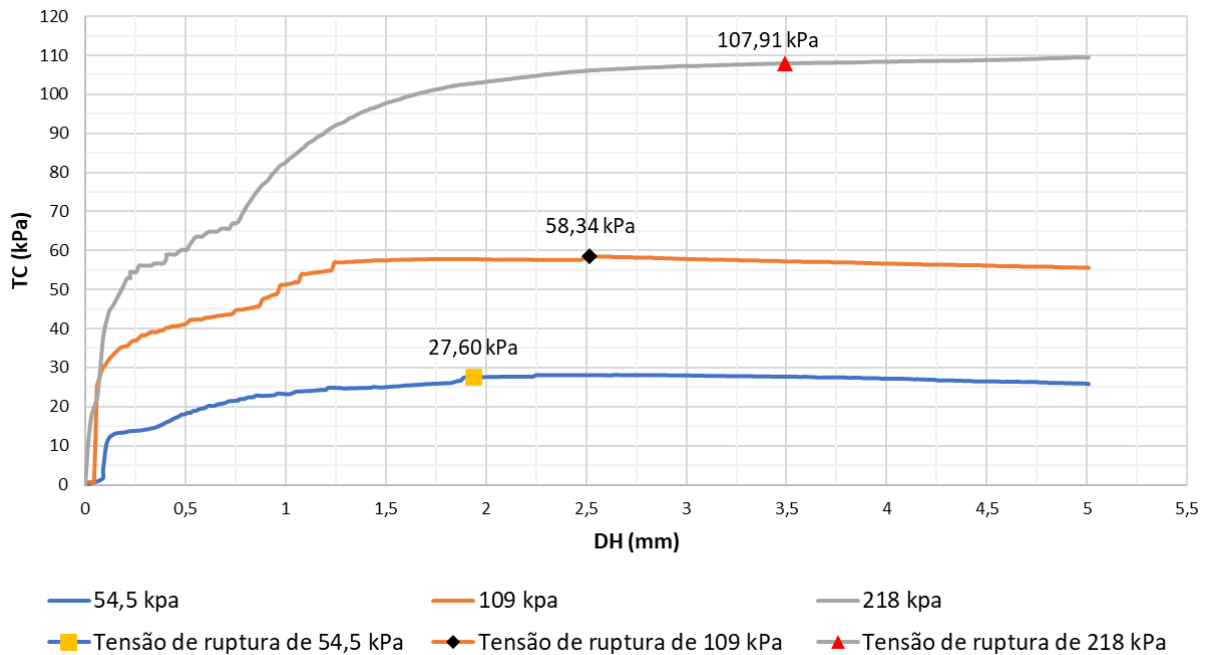
| Autor | Classificação do solo | Ângulo de atrito (°) | Intercepto coesivo (kPa) |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Autor, 2022 | Argila orgânica arenosa | 18,9 | 26,2 |
| Bhanbhro Student et al. (2014) | Silte argiloso | 15,87 | 27,71 |
| Werlang; Piccolo (2013) | Argila de baixa plasticidade | 36,54 | 12,25 |
| Silva, J.W.B et al., (2019) | Argila residual de basalto | 38 | 32 |

4.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA INTERFACES ARGILA ORGANICA-GEOTÊXTIL

O critério para encontrar o valor de ruptura foi o mesmo utilizado segundo De Campos e Carrillo (1995). Os parâmetros de resistência de cisalhamento da interface argila

orgânica-geotêxtil são observados nas Figura 41 e Figura 42, os parâmetros aqui analisados serão a adesão do solo-geotêxtil e o ângulo de atrito entre o solo-geotêxtil, ou seja, a interface (Das & Sobhan, 2014). Na Figura 41 pode-se observar os pontos de tensão de ruptura sendo eles 27,60; 58,34 e 107,91 kPa, tais pontos serão usados para traçar sua envoltória de resistência (Figura 42).

Figura 41 - Curva tensão cisalhante x deslocamento – Interface argila orgânica-geotêxtil



Fonte: Autor, 2022

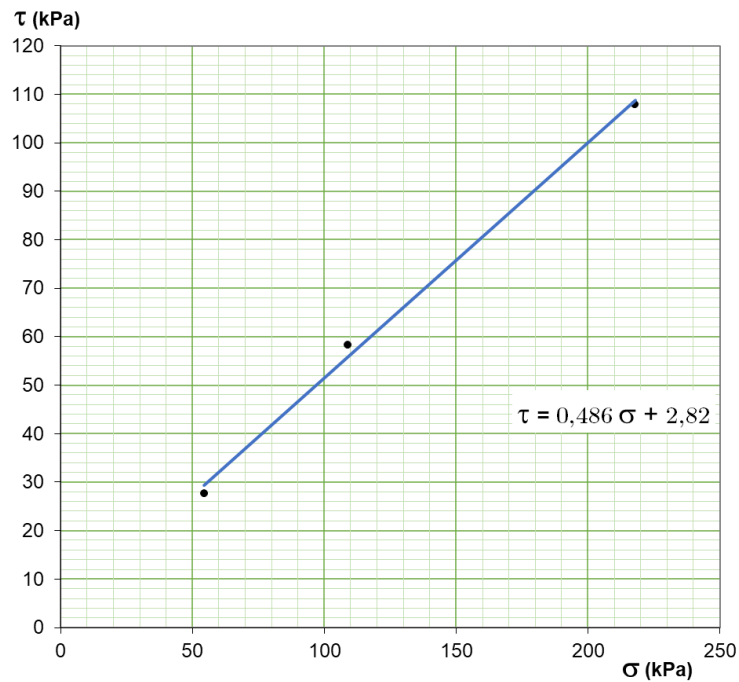
A Tabela 10 nos mostra os valores de moldagem das amostras no ensaio de cisalhamento direto na interface da argila orgânica - geotêxtil, tal como a umidade e densidade natural.

Tabela 10 - Densidade natural, valores de moldagem do ensaio de cisalhamento direto – interface argila orgânica-geotêxtil

| Parâmetro | Tensão | | |
|--|----------|---------|---------|
| | 54,5 kPa | 109 kPa | 218 kPa |
| Umidade (%) | 36,7 | 35,6 | 36,9 |
| Densidade natural (g/cm ³) | 1,348 | 1,346 | 1,363 |

O ângulo de atrito e a adesão são extraídas da envoltória de resistência (Figura 42), os valores de ângulo de atrito e adesão, são respectivamente 25,9° e 2,8 kPa.

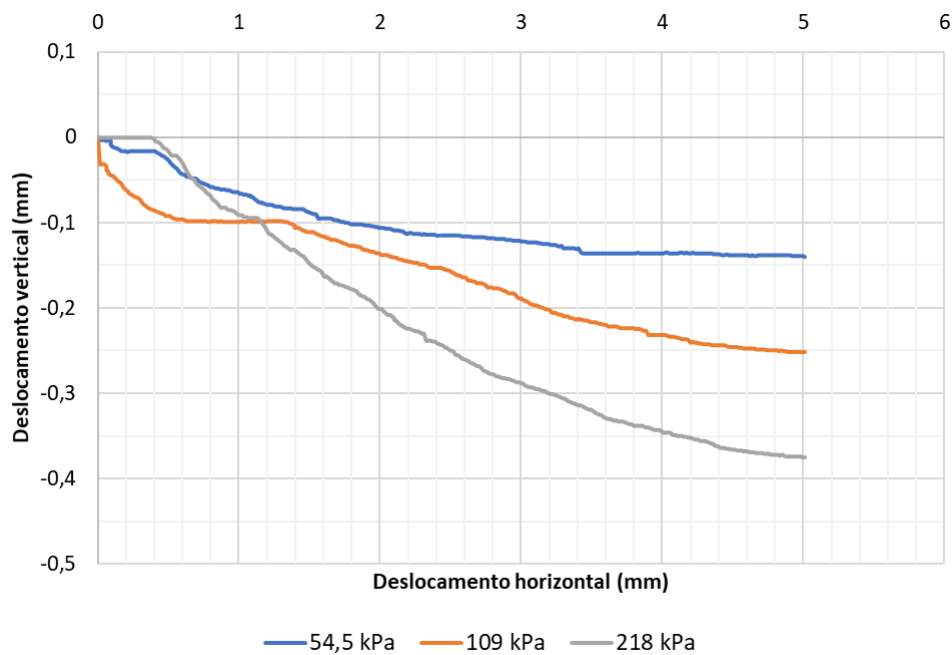
Figura 42 - Envoltória de resistência – Interface argila orgânica-geotêxtil



Fonte: Autor, 2022

A variação do volume pode-se analisar um comportamento de compressão, tal comportamento aumenta seu valor com o aumento de tensão normal (Figura 43).

Figura 43 - Gráfico da variação da altura x deslocamento horizontal – Interface argila orgânica - geotêxtil



Fonte: Autor, 2022

A Tabela 11 nos mostra valores de resistência na interface (ângulo de atrito e adesão) encontrados nesta pesquisa e também valores encontrados por outros pesquisadores, os valores de ângulo de atrito estão entre 23,83 à 27,7°, os valores de adesão estão entre 0,0 à 7,6 kPa, o valor encontrado nesta pesquisa está nesses intervalos, o que comprova o valor obtido.

Tabela 11 – Comparativo dos parâmetros de resistência de interface encontrados por outros pesquisados - cisalhamento direto drenado

| Autor | Classificação do solo | Interface | Situação da amostra | Ângulo de atrito (°) | Adesão (kPa) |
|----------------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Autor, 2022 | Argila orgânica arenosa (OL / A-7-5) | Argila Geotêxtil | Indeformada | 25,9 | 2,8 |
| Biconsini et al.(2015) | Argila vermelha (CL / A-7-6) | Argila geotêxtil | Compactada | 24,4 | 7,6 |
| Silva, J.W.B et al. (2019) | Argila residual de basalto | Solo Geomembrana | Compactada | 23,83 | 0,0 |
| (Penha, 1999) | CL / A-7-6 | Argila geotêxtil | Compactada | 27,7 | 4,6 |
| | | Argila geotêxtil | | 27,6 | 5,2 |

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho se fez uma análise de uma argila orgânica mole encontrada em Foz do Iguaçu-PR no trecho em execução da rodovia Perimetral Leste. A análise foi realizada em uma amostra indeformada por meio de ensaios experimentais de caracterização física e parâmetros de resistência ao cisalhamento e também da resistência na interface do solo-geotêxtil, com o objetivo de estudar o comportamento da resistência ao cisalhamento na interface do solo com o geotêxtil para investigar problemas de expulsão do solo mole após a colocação de um aterro com reforço de geotêxtil na base. Em relação aos resultados encontrados neste trabalho, pode-se enfatizar os seguintes pontos:

- Para analisar o comportamento na interface solo mole e geotêxtil, foi desenvolvido uma base rígida de concreto na qual encaixa na metade inferior da caixa de cisalhamento e sobre esta o geotêxtil foi fixado, este procedimento auxilia na representação do mecanismo de interação na interface solo-geotêxtil, e também garante que a interface coincida com a superfície de ruptura, o qual é de suma importância para esta análise, pois sem essa base rígida, o efeito do adensamento poderia mudar a posição do geotêxtil;
- O solo analisado é predominantemente argiloso com 52,2% composto por argila, partículas estas menores que 0,002 mm. De acordo com a AASHTO é um solo A-7-5, de acordo com a classificação SUCS é um solo OL, solo este orgânico de baixa compressibilidade, e de acordo com ASTM é uma argila orgânica arenosa. Os limites de Atterberg nos mostra que o solo é de plasticidade média.
- Os parâmetros de resistência da argila orgânica mole indeformada obtidos no ensaio de cisalhamento direto drenado foram de 18,9° para o ângulo de atrito, e 26,2 kPa para intercepto coesivo. Os resultados situaram-se dentro da faixa encontrada na literatura para argilas moles.
- Ainda sobre os resultados obtidos pelo ensaio de cisalhamento se pode analisar a variação volumétrica da argila orgânica mole indeformada em estado de compressão, isso comprova também o seu aspecto orgânico, uma vez que para esses tipos de solo se tem índices de vazios consideráveis.

- Os parâmetros de resistência na interface argila-geotêxtil obtidos no ensaio de cisalhamento direto drenado foram de $25,9^\circ$ para o ângulo de atrito, e uma adesão de 2,8 kPa. Os resultados situaram-se dentro da faixa encontrada na literatura. A variação volumétrica nessa situação nos mostrou um comportamento semelhante ao encontrado anteriormente, comportamento este de compressão.
- Pode observar também o comportamento da curva tensão-deslocamento tanto da amostra de solo, quanto da amostra solo-geotêxtil sem um pico de ruptura, caracterizando um comportamento com enrijecimento progressivo.

Algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Realização de uma maior quantidade de ensaios para análise do solo, tal como: mineralogia do solo, ensaio de compressão triaxial, entre outros.
- Realização de ensaios em campo, tal como: ensaio de palheta, piezocone.
- Realização de uma maior quantidade de ensaios com diferentes tipos de geossintéticos, para analisar o comportamento da interação solo-geossintético.
- Determinar o módulo de deformabilidade e o coeficiente de Poisson deste solo, para que se possa fazer também análises de recalques.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6502**: Solos e rochas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. **NBR 13600**: Solo - determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440° graus celsius. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. **NBR ISO 10318-1**: Geossintéticos – Parte 1: Termos e definições. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT. **NBR ISO 12957-1**: Geossintéticos — Determinação das características de atrito - Parte 1: Ensaio de cisalhamento. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT. **NBR 7180**: Solo Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. **NBR 6458**: Grãos de Pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

AGUIAR, V. R. D. **Resistência de interfaces solo-geossintético-desenvolvimento de equipamento e ensaios**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ALMEIDA, M. DE S. S.; MARQUES, M. E. S. **Aterro sobre solos moles - Projeto e desempenho**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

ALVES, N. S. DE O. **Estudo do comportamento de aterros reforçados sobre solos moles com utilização de drenos verticais pré-fabricados**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **D3080/D3080M-1**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. West Conshohocken, PA, 2012.

ANAGUA COILA, R., **Evaluación del comportamiento carga-asentamiento en escala completa de zapatas sobre limo arcillo blando y limo arcilloso reforzado por**

columnas de suelo-cemento compactado. Trabajo de Conclusión de Curso Ingeniería Civil de Infraestructura – Universidad Federal de Integración Latino-Americana, Foz do Iguazú, 2019.

BELLO, M. I. M. DA C. V. **Estudo de ruptura em aterros sobre solos moles - aterro do galpão localizado na BR-101-PE.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

BENJAMIN, C. V. S. **Avaliação experimental de protótipos de estruturas de contenção em solo reforçado com geotêxtil.** Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BHANBHRO, R. et al. Mechanical Properties of Soft Tailings from a Swedish Tailings Impoundment: Results from Direct Shear Tests. **European Journal of Government and Economic (EJGE)**, [S.l.], v. 19, p. 9023-9039, 2014.

BISCONSINI, R. et al. **Estudo da resistência ao cisalhamento na interface geotêxtil não tecido-solo argiloso.** Foz do Iguaçu. *In*: Reunião anual de pavimentação (RAPv), 44.; encontro nacional de conservação rodoviária (ENACOR), 18., 2015, Foz do Iguaçu-PR.

BOWLES, J. E. **Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil.** 1. ed. México D.F.: Poligráfica, 1981.

CADETE, A. N. M. **Avaliação da resistência não drenada de uma argila orgânica mole no bairro chão de estrelas em Recife-PE.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

CASAGRANDE, M. D. T. **Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DAS, B. M.; SOBHAN, K. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

DE CAMPOS, T. M. P.; CARRILLO, C. W. **Direct Shear Testing on an Unsaturated Soil from Rio de Janeiro.** Unsaturated Soils, 1995.

MAGNAN, J. P. **Classification Géotechnique des Sols.** A Propos de la Classification LPC. Bulletin de Liaison des LPC, nº. 105. 1980.

MARANGON, M. **Mecânica dos Solos.** Apostila (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

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

NGUYEN, M.-D.; HO, M.-P. The influence of saturation on the interface shear strength of clay and nonwoven geotextile. **Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - NUCE**, v. 15, n. 1, 2021, p. 41–54. DOI: 10.31814/stce.nuce2021-15(1)-04

NIETIEDT, J. A. **Aterros instrumentados sobre solos moles: estudo de caso na BR-448**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

OCHOA AVEROS, S., BIZARRETA-ORTEGA, J. **Experimental Study on Stabilization Subgrade Soil Soft with Fine Concrete Residue**. ESPOCH Congresses: The Ecuador in Journal of S.T.E.A.M., 1(1), p. 1044-1052, 2021.
<https://doi.org/10.18502/epoch.v1i2.9530>

OLIVEIRA, T. C. F.; DEZEN, B. G. S.; ANTONIO, I. O.; DAHMER, R.; BIZARRETA-ORTEGA, J. C. Estacas de Reforço em Solo - Cimento como Forma de Viabilizar o Uso de Sapatas em Solo Residual Mole. In: ANAIS DO XX COBRAMSEG, 2018, Vol. III, GJ35768. Salvador. Anais eletrônicos... Salvador, 2018.
<http://dspace.unila.edu.br/123456789/6808>

OWNTEC SOLUÇÕES EM ENGENHARIA LTDA. **Manual de Instruções – Aparelho de Cisalhamento Direto do Solo-Eletrônico**. Santa Cruz do Sul, [s.d.].

PALMEIRA, E. M. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. Oficina de Textos: São Paulo, 2018. v. 1

PALMEIRA, E. M.; FAHEL, A. R. DA S.; ORTIGÃO, J. A. R. **Aterros Reforçados com Geossintéticos Sobre Solos Moles**. Rio de Janeiro, 2001.

PENHA, M. J. A. Z. **Algumas Considerações a Respeito da Resistência ao Cisalhamento na Interface Solo Argiloso – Geotêxtil Não-tecido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Comissão de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade estadual de Campinas, Campina, 1999.

PINTO, C. DE S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PÓVOA, L. M. DE M. **Caracterização geotécnica de um depósito de solo mole em área de baixada localizada em Macaé-RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

SCHNAID, F.; WINTER, D.; ALVES, F. **Rodovia do Parque BR-448: Uso de Colunas Encamisadas com Geotêxtil (GEC) para Redução de Empuxos em Aterro de Aproximação de Pontes e Viadutos**. Búzios-RJ, 2008.

SILVA, J. W. B.; DACIOLO, L. V. P.; CORREIA, N. D. S. **Resistência ao cisalhamento de interface em sistemas de barreiras impermeáveis com geomembranas reforçadas**. São Carlos-SP, 2019.

ROCHA, S. A. **Avaliação da Influência de Polipropileno na Resistência Efetiva de um Solo Argiloso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2019.

VERTEMATTI, J. C. **Curso Básico De Geotêxteis**. 1. ed. São Paulo: Rooka'z, 2001.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

WERLANG, M. K.; PICCOLO, A. Propriedades mecânicas de resistência ao cisalhamento, compressibilidade, permeabilidade e a conformação do relevo no sudoeste do município de São Sedro do Sul - RS. **Revista do Centro do Ciência Naturais e exatas**, v. 35, n. 2, 2013, p. 261-274. DOI: 0.5902/2179-460X861