

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADEMICAS III
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

AMANDA ARCIPRETT OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ADENSAMENTO DE
UM SOLO TROPICAL SOB INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE
REJEITO DA USINA DE ETANOL**

Goiânia, GO

2019

AMANDA ARCIPRETT OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ADENSAMENTO DE
UM SOLO TROPICAL SOB INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE
REJEITO DA USINA DE ETANOL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás,
Campus Goiânia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Giovane Batalione

Goiânia , GO

2019

Ol41a Oliveira, Amanda Arciprett.

Avaliação dos parâmetros de adensamento de um solo tropical sob influência da adição de rejeito da usina de etanol / Amanda Arciprett Oliveira. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2019.
80 f.: il.

Orientador: Prof. Me. Giovane Batalione.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Coordenação de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.
Inclui apêndice.

1. Resíduos sólidos. 2. Usina de etanol. 3. Adensamento - solo. I. Batalione, Giovane (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. III. Título.

CDD 363.728

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL

Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG -
ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

☐	Tese	☐	Artigo Científico
☐	Dissertação	☐	Capítulo de Livro
☐	Monografia – Especialização	☐	Livro
☒	TCC – Graduação	☐	Trabalho Apresentado em Evento
☐	Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____		

Nome Completo do Autor: Amanda Arciprett Oliveira

Matrícula: 20131011050069

Título do Trabalho: Avaliação dos parâmetros de cisalhamento de um solo tropical sob influência da adição de rejeitos da usina de etanol.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 09/08/19

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 07/08/19.
Local Data

Amanda A. Oliveira
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Amanda Arciprett Oliveira

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ADENSAMENTO DE UM SOLO TROPICAL
SOB INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE REJEITO DA USINA DE ETANOL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Civil

Aprovado em 09 de julho de 2019:



Giovane Batalione, Me. (IFG)
(Orientador)



Claúdio Marra, Me.(IFG)



Sandro Borges Vale, Esp. (IFG)

Goiânia, GO
2019

DEDICATÓRIA

A minha família, em especial aos meus pais, Paulimar Geraldo de Oliveira e Roberta Arciprett Oliveira, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu alcançasse esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por ter me dado a força para superar minhas limitações e dificuldades, abençoando o meu caminho durante este trabalho.

Agradeço aos meus pais, que não mediram esforços para me oferecer uma educação de qualidade e que com muita sabedoria, tiveram paciência nos momentos de tensão. Ao meu irmão, tios, avós e primos, agradeço que sempre acreditaram no meu potencial e nunca me negaram uma palavra de incentivo.

Meu eterno agradecimento a todos os meus amigos, que deram uma contribuição valiosa para a minha jornada acadêmica. Obrigada pelos conselhos, palavras de apoio, puxões de orelha e risadas. Em especial, ao meu amigo, Marco Aurélio, o qual me auxiliou durante todas as etapas de execução dos ensaios, bem como na interpretação dos resultados obtidos.

Aos meus professores, que acompanharam a minha jornada acadêmica de perto e deram muito apoio em sala de aula. Obrigada pela incansável dedicação e confiança. Sou grata especialmente ao professor Giovane Batalione, meu orientador, que sempre contribuiu muito com a realização dessa pesquisa. Aos técnicos Sandro e Alfredo, e aos estagiários do laboratório, que sempre me atenderão com prontidão auxiliando na execução dos ensaios.

EPÍGRAFE

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

Marthin Luther King

RESUMO

A produção de etanol, representa uma área em expansão. Esta produção gera uma quantidade grandiosa de rejeitos, os quais são de difícil descarte devido a seu potencial poluente. Estes rejeitos vem sendo estudados para se descobrir os efeitos que a aplicação deste resíduo tem sobre as características e propriedades dos solos, tais como pH, disponibilidade de nutrientes, e a viabilidade de se empregar tais rejeitos como fertilizantes. Pesquisas sobre os efeitos mecânicos advindos da aplicação de doses de vinhaça no solo, são ainda muito incipientes. O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo estudar a influência causada pela adição de rejeitos (vinhaça e fibras) advindos de usinas de etanol em um solo tropical da região metropolitana de Goiânia, no quesito adensamento. O adensamento de um solo é de suma importância para a engenharia civil. Para se determinar os parâmetros de adensamento de um solo serão realizados ensaios edométrico, com amostras de solo acrescidos de rejeitos e sem a adição dos resíduos vinhaça e fibras. As amostras de solo e rejeitos foram selecionadas com embasamento em trabalhos anteriormente desenvolvidos no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia. Os parâmetros de adensamento serão obtidos através de ensaios de compressão edométrica, com a pressão nominal de carregamento padrão 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 4,0 kgf/cm² e pressão nominal de descarregamento de 2,0 kgf/cm². Após a obtenção dos parâmetros, será realizada comparação dos resultados encontrados com os resultados obtidos do solo sem adições, para se comprovar a ocorrência do reforço do solo e corroborar com a descoberta de novas alternativas de destinação dos resíduos de usina de etanol, tais como vinhaça e bagaço.

Palavras-chave: Adensamento, Recalque, Resíduos de Usina de Etanol, obras geotécnicas, vinhaça.

ABSTRACT

The production of ethanol represents an expanding area. This production generates a large amount of tailings, which are difficult to discard because of their pollutant potential. These residues have been studied to discover the effects that the application of this residue has on the characteristics and properties of the soils, such as pH, availability of nutrients, and the feasibility of using such wastes as fertilizers. Research on the mechanical effects of applying vinasse doses to the soil is still very incipient. This work aims to study the influence caused by the addition of waste (vinasse and fibers) from ethanol plants in a tropical soil of the metropolitan region of Goiânia, in the area of densification. The density of a soil is of paramount importance for civil engineering. In order to determine the soil densification parameters, edometric tests will be performed, with soil samples added with tailings and without the addition of vinasse and fiber residues. The soil samples and tailings were selected based on previously developed works at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás - Campus Goiânia. The densification parameters will be obtained through edometric compression tests, with the loading nominal pressure 0.5; 1.0; 2.0; 4.0 kgf/cm² and unloading nominal pressure 2.0 kgf/cm². After obtaining the parameters, a comparison will be made of the results obtained with the results obtained from the soil without additions, in order to prove the occurrence of soil reinforcement and corroborate with the discovery of new alternatives for the disposal of ethanol plant residues, such as vinasse and fibers

Chain-words: Density, Accumulation, Ethanol Plant Waste, geotechnical works, vinasse

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivo Específico	15
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	VINHAÇA E FIBRAS	17
2.1.1	Vinhaça	17
2.1.2	Fibras	20
2.2	IMPORTÂNCIA DA GEOTECNIA NA PRÁTICA DA ENGENHARIA CIVIL	22
2.3	O PROCESSO DE ADENSAMENTO	23
2.4	TEORIA DE ADENSAMENTO DE TERZAGHI	24
2.5	FÓRMULAS APROXIMADAS	31
2.6	ENSAIO DE ADENSAMENTO	32
2.6.1	Execução do Ensaio	33
2.6.2	Interpretação do Resultado do Ensaio de Adensamento	34
3	METODOLOGIA	40
3.1	MATERIAL	40
3.2	REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE ADENSAMENTO	43
3.2.1	Moldagem do corpo de prova	43
3.2.2	Montagem dos corpos de prova na célula de adensamento	45
3.2.3	Montagem da célula de adensamento no equipamento	46
3.2.4	Carregamentos e descarregamento	47
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	49

4.1	ENSAIO DE ADENSAMENTO DE SOLO TROPICAL SEM ADIÇÃO DE REJEITOS	49
4.2	ENSAIO DE ADENSAMENTO DE SOLO TROPICAL COM ADIÇÃO DE REJEITOS	54
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE PARAMETROS OBTIDOS ENTRE OS ENSAIOS DE ADENSAMENTO DE SOLO TROPICAL COM E SEM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA USINA DE ETANOL.....	58
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	61
5.1	CONCLUSÕES	61
5.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A produção de etanol como uma alternativa de combustível, começou a ser incentivada pelo Governo brasileiro na década de 70, quando em 1975 foi lançado o Proálcool (Programa Nacional do Álcool), o qual visava diminuir a importação de petróleo do país devido a este estar sofrendo abruptas elevações de preço. Neste programa podem se destacar 5 fases ao longo de sua existência. (BIODIESLBR, 2006)

A primeira fase, ocorrida entre os anos de 1975 e 1979, teve seus esforços voltados para a produção de álcool anidro destinado a mistura com gasolina, fazendo com que o crescimento da produção alcooleira fosse de 600 milhões de L/ano para 3,4 bilhões de L/ano. (BIODIESLBR, 2006)

Durante a segunda fase, de 1980 a 1986, houve o segundo choque do petróleo, o que triplicou o preço do barril e fez com que a compra deste produto representasse 46% da pauta de importações brasileiras em 1980. Houve portanto um incentivo do Estado para a plena implantação do Proálcool, sendo criados assim o Conselho Nacional do Álcool (CNAL) e a Comissão Executiva Nacional do Álcool (CENAL). A produção alcooleira atingiu um pico de 12,3 bilhões de L, superando a meta inicial do governo. Durante este período a produção de carros movidos a álcool no país aumentou de 0,46% em 1979, para 76,1% em 1986. (BIODIESLBR, 2006)

A terceira fase, denominada de fase de estagnação, ocorreu entre os anos de 1986 e 1995. Neste período, houve uma queda no preço do barril de petróleo, o que colocou em xeque os programas de substituição de hidrocarbonetos fósseis e de uso eficiente da energia em todo o mundo. Em 1988, quando houve escassez de recursos públicos para subsidiar os programas de estímulo aos energéticos alternativos o programa Proálcool sofreu um sensível decréscimo no volume de investimentos. Com isso não foi possível que se elevasse a produção, entretanto a demanda do consumidor aumentou, o que gerou uma crise de abastecimento. Estes eventos afetaram a credibilidade do Proálcool. (BIODIESLBR, 2006)

Durante a quarta fase 1995 a 2000, houve a criação do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA), houve a determinação por meio de medida provisória a elevação do percentual de adição de álcool etílico anidro na

gasolina. Neste período, estabeleceu-se um processo de transferência de recursos arrecadados a partir de parcelas dos preços da gasolina, diesel e lubrificantes para compensa os custos de produção de álcool de modo a viabilizar seu uso como combustível. (BIODIESLBR, 2006)

A quinta fase, a fase atual, encontra um cenário muito diferente do que o de 40 anos atrás. A iniciativa privada que se movimenta para a ampliação e desenvolvimento das unidades produtoras de etanol. (BIODIESLBR, 2006)

No processo produtivo de etanol, são gerados uma grande quantidade de resíduos, estima-se que sejam produzidos uma quantidade compreendida entre 10 e 18 litros de vinhaça para cada litro de etanol. Como todo resíduo, a vinhaça também precisa ser descartada, mas este descarte não é tão simples devido ao alto poder de poluição. Por exemplo, conforme dados de Silva, Griebeler e Borges (2007) a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) da vinhaça varia entre 20000 e 35000 mg/L, um valor muito elevado, o que impossibilita o lançamento deste em cursos d'água e no solo.

Muito se tem pesquisado, para se descobrir os efeitos que a aplicação deste resíduo tem sobre as características e propriedades dos solos, tais como pH, disponibilidade de nutrientes, e a viabilidade de se empregar vinhaça como fertilizante em diversas culturas.

Estudos apontam que além de variações químicas no solo, este resíduo também interferem em propriedades físicas do solo tratado com esta. Entretanto pesquisas sobre os efeitos mecânicos advindos da aplicação de doses de vinhaça no solo, são ainda muito incipientes.

Estudos de ÁVILA *et al* (2017), sobre alternativa de uso da vinhça como um composto estabilizador do solo em processos erosivos, comprovando a eficacia deste subproduto para o fim de estabilização do solo, corrobora para o intuito de se diversificar a pesquisa sobre a utilização deste composto de novas maneiras. Descobrimo assim novas características do subproduto, de seu comportamento, e novas alternativas para a reciclagem de residuos e consequentemente, a diminuição do impacto ambiental.

A produção de etanol gera uma grande quantidade também de fibras oriundas do bagaço da cana-de-açúcar. A utilização deste subproduto é uma fonte energética de suma importância.

Assim como a vinhaça, vem sendo desenvolvidos estudos da utilização deste composto para outras destinações, tais como a utilização deste na produção de concreto substituindo a massa do agregado miúdo.

Os estudos de Carlos *et al.* (2017), concluíram que a inserção das fibras oriundas do bagaço da cana-de-açúcar influenciaram o comportamento do concreto, mas ainda assim a utilização destas fibras como reforço em matriz cimentícia é tecnicamente possível e viável, além de contribuir para a redução da retirada de matéria prima de fontes naturais não renováveis e para a reciclagem de resíduos, reduzindo deste modo o impacto ambiental.

Dentro deste contexto se insere o presente trabalho, cujo objetivo é avaliar o comportamento de um solo tropical tratado com vinhaça e fibras no que se refere ao adensamento, em condições de laboratório, como maneira de se aproveitar estes subprodutos, pretendendo obter um material solo-aditivo de múltiplas possibilidades de uso em obras geotécnicas.

1.1 OBJETIVOS

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste TCC será:

- a. Avaliar os parâmetros de adensamento de um solo laterítico com adição de rejeitos da indústria de etanol (fibras e vinhaça).

1.1.2 Objetivo Específico

Os objetivos específicos deste TCC serão:

- a. Avaliar se a adição de fibras e vinhaça alterou os valores da tensão de pré adensamento e do coeficiente de adensamento do solo;

- b. Avaliar se possíveis alterações com a adição das fibras e da vinhaça ao solo modificará a condição do solo de pré-adensada e/ou normalmente adensado considerando uma condição de execução em solo compactado;
- c. Avaliar se a adição dos rejeitos utilizados provocará alterações na magnitude do recalque diferencial.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A seguir, são apresentados a estruturação do trabalho com seus respectivos capítulos.

No Capítulo 1, Introdução, apresenta o escopo do trabalho com a finalidade de fazer um apanhado geral do mesmo, de forma objetiva e sucinta.

No Capítulo 2, Revisão Bibliográfica, apresenta-se um apanhado de informações e de pesquisas de fontes externas, tais como livros, revistas, artigos científicos, entre outros, a respeito do tema.

No Capítulo 3, Metodologia, são apresentados os materiais, métodos e procedimentos que serão utilizados para a realização do trabalho e para o desenvolvimento do programa experimental.

No Capítulo 4, Apresentação e Análise dos Resultados, descrevem-se os resultados obtidos através da utilização de tabelas, figuras e comentários acerca dos resultados obtidos

No Capítulo 5, Conclusões e Sugestões de Pesquisas Futuras, apresenta as conclusões obtidas com a realização do trabalho, tanto na parte experimental como na aplicação dos resultados, e as sugestões para realização de pesquisas futuras utilizando o equipamento triaxial e a mistura de solo e rejeitos oriundos da usina de sucroalcooleira.

Ao final do trabalho, estão listadas todas as referências utilizadas ao longo do estudo, o anexo e o apêndice

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica sobre o tema estudado, com a finalidade de embasar a realização da pesquisa.

2.1 VINHAÇA E FIBRAS

Tanto a vinhaça, como as fibras se classificam, conforme Lei 12.305 /2010, como resíduos industriais. Esta classificação se dá pelo fato de que estes compostos são gerados no processo produtivo do etanol.

A seguir, serão apresentados de forma mais detalhada as características de cada subproduto que será utilizado para o estudo de reforço do solo no presente trabalho.

2.1.1 Vinhaça

A produção de álcool de cana-de-açúcar resulta em um subproduto, que de alguma forma, necessita ser descartado. Este resíduo é a vinhaça, também conhecido como vinhoto.

O descarte deste material, precisa ser estudado, pois trata-se de um material altamente poluente, com a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio, quantidade de oxigênio necessário para estabilização da matéria orgânica) variando entre 20000 e 35000 mg/L. (Silva, Griebeler e Borges ,2007). Esta carga poluente impede, por exemplo que o vinhoto seja descartado em cursos d'água, e o que justifica quaisquer esforços objetivando o seu aproveitamento para os mais diferentes usos.

A vinhaça caracteriza-se por ser um efluente líquido resultante do processo de destilação de uma solução alcoólica chamada vinho, obtida do processo de fermentação para obtenção do álcool. O vinho é oriundo da fermentação alcoólica do caldo da cana, do melaço ou da mistura destes dois. Para cada litro de álcool produzido são gerados de 10 a 18 litros de vinhaça. A Tabela 2.1.1.1, retirada do inventário de resíduos sólidos da usina sucroalcooleira do sudoeste goiano, o qual está disponível em meio eletrônico, e apresenta dados da usina Comigo, Rio Verde.

Tabela 2.1.1.1 Levantamento dos resíduos da usina. (Fonte: Adaptado do Inventário de resíduos sólidos em uma Usina Sucroalcooleira do Sudoeste Goiano)

Resíduos	Quantidade	Destinação Atual	Destinação Adequada	Tempo de recolhimento	Classe de Resíduos
Bagaço de cana	800 t/dia	Queima na caldeira	Queima na caldeira / venda	Estocado	II A - não inertes
Vinhaça	14,00 L vinhaça / 1 L álcool	Fertirrigação	Fertirrigação	Diariamente	II A - não inertes
Cinza de Caldeira	14.000 kg/dia	Aplicação na lavoura	Aplicação na lavoura	Estocagem	II B - inertes
Torta de filtro	3,52 t/h	Aplicação na lavoura	Aplicação na lavoura	Recolhido constantemente	II A - não inertes
Óleo Fusel	17,00 L/hora	Vendido durante período de safra	Venda	Recolhido a cada 2 meses	I - perigosos
Água de lavagem de cana	2,5 m³/t cana	Circuito Fechado	Retorna para o mesmo processo	Retorna para o mesmo processo	II B - inertes
Óleo usado	2.400 L/mês	Venda para reciclagem	Venda para reciclagem	Recolhido semestralmente	I - perigosos
Pneus usados	20 pneus/ mês	Venda para reciclagem	Venda ou incineração	Recolhido semestralmente	II B - inertes
Tecido contaminado	300 unid./ mês	Empresa credenciada recolhe para lavagem e substitui por novos	Incineração	Semestralmente	I - perigosos
EPI	95 unid./mês	Retorna a empresa vendedora	Incineração	A cada 5 meses	II A - não inertes
Sucata	10 t/mês	Estocagem no pátio / venda para reciclagem	Venda para reciclagem	Semestralmente ou quando houver excesso no pátio	II A - não inertes
Embalagens vazias de defensivos agrícolas	800 unid./mês	Estocado/ levado para empresa credenciada	Devolvidas	A cada 4 meses ou mediante saturação do depósito	I - perigosos

As classes de resíduos apresentados na Tabela 2.1.1.1 , referem-se a periculosidade de cada resíduo, sendo:

- I – perigosos: resíduos que devido a suas características físico-químicas ou biológicas apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- II A – não perigosos não inertes: são resíduos que não apresentam características de periculosidade, cujo tratamento destes resíduos devem ser realizados por sistemas, instalações e equipamentos licenciados por órgãos ambientais e submetidos a monitoramento periódico.
- II B – não perigosos inertes: são resíduos que não apresentam características de periculosidade, os quais devem ser devolvidos aos fabricantes ou importadores, que serão responsáveis pelo manuseio e transporte.

O vinhoto possui características bem peculiares, tais como pH ácido e elevada DBO (comparando-se com o esgoto doméstico, cuja DBO é em torno de 350 mg/L, a vinhaça é cerca de 57 vezes mais poluente). A principal alternativa para o reaproveitamento da vinhaça é a aplicação direta no solo, com intuito de fertilizar o solo.

A aplicação deste subproduto é extremamente poluente para cursos d'água devido ao elevado valor de DBO já apresentado, entretanto a utilização do vinhoto em solos não é tão poluente, sendo inclusive esta uma das maneiras de reaproveitamento deste rejeito. Isto se dá, pelo fato de que quando aplicado no solo, ocorrem reações as quais transformam a estrutura dos macro nutrientes, exclusivamente orgânicos, em uma estrutura de “fios”, conferindo assim ao solo uma maior resistência superficial e maior fixação das partículas. (ÁVILA,2017)

A quantidade de vinhoto utilizado no solo, não é fixa, e deve ser estudada para cada tipo de solo e para cada local onde ocorrerá a aplicação pois o subproduto não pode ultrapassar a capacidade de retenção de íons.

2.1.1.1 Composição

O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e por cátions com Potássio, Cálcio e Manganês. O material residual em questão é composto pelos seguintes nutrientes: Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Boro, Ferro, Manganês, Zinco, Cobre, Sódio e Enxofre.

A Tabela 2.1.1.1.1 apresenta a porcentagem de nutrientes citados na vinhaça oriunda da Usina Comigo, em Rio Verde, Goiás.

Tabela 2.1.1.1.1 Porcentagem de nutrientes da vinhaça. (Fonte: Inventário de resíduos sólidos em uma Usina Sucroalcooleira do Sudoeste Goiano)

Nutrientes	Porcentagem (%)
Nitrogênio (N)	1,76
Fósforo (P)	3,03
Potássio (K)	6,59
Cálcio (Ca)	0,53
Boro (B)	0,02
Ferro (Fe)	0,24
Manganês (Mn)	0,01
Zinco (Zn)	0,009
Cobre (Cu)	0,003
Sódio (Na)	0,05
Enxofre (S)	0,2

2.1.1.2 Destinação

Nas literaturas consultadas, verificou-se que a principal destinação da vinhaça é a Fertirrigação do solo, ou seja a vinhaça é diluída na água de irrigação que fará a adubação do solo cultivado. Muitos estudos foram desenvolvidos com este enfoque, por isso se faz necessário estudos para que se encontre outras alternativas de uso para este subproduto.

2.1.2 Fibras

As fibras da cana-de-açúcar, também chamadas de bagaço, se apresentam como o mais significativo resíduo sólido gerado, em virtude da quantidade produzida, o que demanda uma grande área de armazenamento. Como apresentado na Tabela 2.1.1.1, a usina Comigo produz cerca de 800 toneladas de bagaço por dia.

Figura 2.2.2.1 Bagaço de cana



Fonte: Acervo Pessoal.

2.1.2.1 Destinação

A principal destinação das fibras da cana-de-açúcar é a queima deste material na caldeira, destinação que considerada adequada. Outras alternativas de destino são: fabricação de chapas de fibra, usadas nas construções; fabricação de massa de papel (celulose); e fabricação de matéria plástica e vários solventes utilizados na indústria; transformação do bagaço em areia de cinzas, a qual pode substituir a areia retirada do meio ambiente na produção de concreto.

O uso do bagaço no solo visa aumentar a resistência do solo já que ao ser submetida a esforços de tração, estes provocam uma redistribuição de tensões no solo.

2.1.2.2 Composição

O bagaço da cana-de-açúcar é um subproduto fibroso composto de matéria orgânica rica em polissacarídeos, como a celulose e hemicelulose, lignina. Estas três matérias juntas compõe 75% da biomassa vegetal. O restante o bagaço é composta por substancias como proteínas, óleos vegetais e minerais.

2.2 IMPORTÂNCIA DA GEOTECNIA NA PRÁTICA DA ENGENHARIA CIVIL

É indiscutível a relevância do estudo dos solos como material de construção ou como suporte de cargas para a prática da “boa engenharia”.

A mecânica dos solos tem uma importante função para se alcançar a almejada boa pratica da engenharia, pois conforme Pinto (2006), o engenheiro se baseia no comportamento dos solos quando tensões são aplicadas ou aliviadas para desenvolver seus projetos.

Os projetos de engenharia vem se apresentando cada vez mais ousados como por exemplo a barragem da Três Gargantas e o edifício Burj Khalifa, com 828 m de altura.

A análise da complexidade e grandiosidade das obras citadas, fica evidente não a obrigatoriedade, mas sim a dependência de um conhecimento o mais perfeito possível do terreno onde serão realizadas estas obras. Caputo (1967) reforça que quanto mais desenvolvida e importante a obra, são requeridos previas investigações geotécnicas para se desenvolver os estudos para projeto e execução de fundações de estruturas (edifícios, viadutos, pontes, bueiros, muros de arrimo, etc).

Embora a mecânica dos solos tenha se desenvolvido enormemente desde Terzaghi, ainda há muito o que se desenvolver neste ramo devido a diversidade do material e peculiaridades e engenhosidades demandadas para solucionar os problemas que são impostos pelo solo.

Um dos aspectos de maior interesse para a engenharia geotécnica, segundo Pinto (2006), é a determinação das deformações ocasionadas devido a carregamentos verticais na superfície ou em cotas próximas a superfície, ou seja, os recalques das edificações com fundações superficiais, como radiers e sapatas, ou de aterros sobre o terreno.

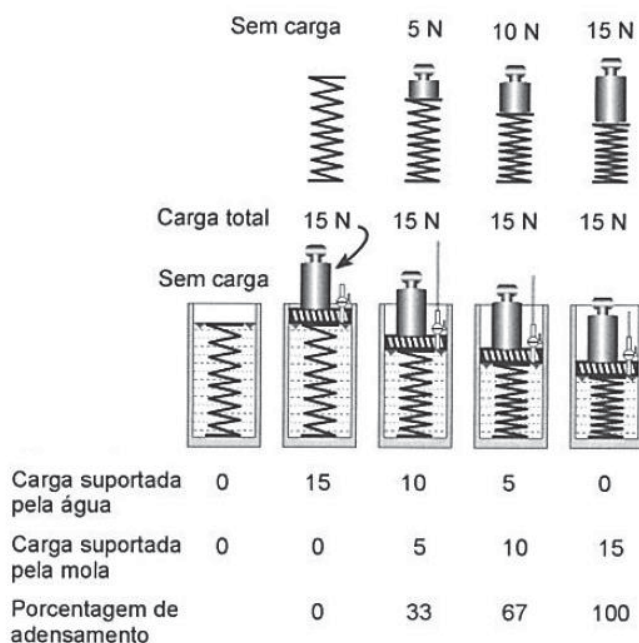
Uma das principais causas de recalque é a compressibilidade do solo, ou seja, a diminuição do volume, a deformação, sob a ação de um carregamento aplicado. A deformação pode ser rápida ou lenta, dependendo da constituição e estado que se encontra o solo, tornando este mais ou menos compressivo. A compressão pode ocorrer devido a redução do volume devido a eliminação do ar contido no solo (compactação), ou devido a eliminação da água contida nos vazios (adensamento).

2.3 O PROCESSO DE ADENSAMENTO

Segundo Marangon (2018), adensamento é definido como o processo de redução do volume de solo devido à drenagem da água dos poros, o qual depende do tempo.

Para o entendimento do fenômeno de adensamento, a analogia mecânica de Terzaghi, representada pela Figura 2.3.1, é muito útil. Nesta analogia, a estrutura sólida do solo é representada por uma mola cuja deformação é proporcional à carga aplicada sobre ela. O solo saturado seria representado pela mola dentro de um pistão repleto de água, no qual há um orifício de dimensões reduzidas no embolo, pelo qual a água passa lentamente.

Figura 2.3.1 Analogia mecânica de Terzaghi para o processo de adensamento.



Ainda de acordo com Pinto (2006), ao se aplicar uma carga sobre o pistão, a mola não se deforma imediatamente no instante seguinte, pois ainda não terá ocorrido a saída de água que é muito mais compressível que a mola. Assim a água será responsável por suportar toda a carga aplicada. Com a água em carga, ela procura sair do pistão. Com o passar do tempo, a quantidade de água expulsa terá provocado uma deformação na mola correspondente a uma carga. A água ainda em carga continuará saindo do pistão e a mola a sofrer uma compressão simultaneamente, suportando cargas cada vez maiores. Assim que não existir mais a sobrecarga na água, a saída desta pelo êmbolo também cessará.

No solo ocorre um processo semelhante, quando há um incremento de pressão no solo, a água nos vazios suporta toda a pressão, ou seja, a pressão neutra aumenta até um valor igual ao do acréscimo de pressão aplicado. Este aumento da pressão neutra denomina-se sobrepressão, pois se trata da parcela da pressão neutra acima do valor de pressão neutra preexistente. Neste instante não há deformações no solo devido ao fato de que apenas tensões efetivas provocarem deformações do solo.

Com a água em carga superior à que estabeleceria equilíbrio com o meio externo, ocorre a percolação da água em direções das áreas de maior permeabilidade. A saída da água indica uma redução do índice de vazios, o que por consequência faz com que parte da pressão aplicada passa a ser suportada pelo solo, ou seja, há um aumento na tensão efetiva com a sobrepressão neutra, as quais somadas são iguais ao acréscimo de pressão total. O processo continua até que toda a pressão aplicada tenha se tornado pressão efetiva e a sobrepressão tenha se dissipado. (PINTO,2006)

A maneira como acontece a transferência de pressão neutra para a estrutura sólida do solo e a consequente redução de volume, constitui a Teoria do Adensamento desenvolvida por Terzaghi, conforme disposto em Pinto (2006).

2.4 TEORIA DE ADENSAMENTO DE TERZAGHI

O desenvolvimento da Teoria do Adensamento, conforme disposto em Caputo (1967) e Pinto (2006), baseia-se nas hipóteses simplificadoras a seguir:

- Solo é totalmente saturado;

- A compressão é unidimensional;
- O escoamento de água obedece a Lei de Darcy;
- O fluxo d'água é unidimensional;
- O solo é homogêneo;
- Tanto a água como as partículas sólidas são incompressíveis;
- O solo pode ser estudado como elementos infinitesimais;
- Durante o processo de adensamento não há variação das propriedades do solo;
- O índice de vazios sofre uma variação linear com o aumento da tensão efetiva durante o processo de adensamento.

A última hipótese permite que haja a associação do aumento da tensão efetiva e a correspondente dissipação de pressão neutra, com desenvolvimento de recalques de maneira simples, por um parâmetro fundamental na Teoria de Adensamento, o grau de saturação.

O grau de saturação é definido como a relação entre a deformação ocorrido em um elemento, o qual está em uma certa posição, a qual é caracterizada pela sua profundidade z , em um determinado tempo (ε) e a deformação do elemento em questão ao final do processo de adensamento (ε_f).

$$U_z = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_f} \quad (\text{Equação 2.4.1})$$

Conforme disposto em Pinto(2006), a deformação final devido ao acréscimo de tensão é dada pela Equação 2.4.2

$$\varepsilon = \frac{e_1 - e_2}{1 - e_1} \quad (\text{Equação 2.4.2})$$

Num instante de tempo t qualquer, o índice de vazios será e , e a deformação ocorrida até este instante será expressa pela equação 2.4.3.

$$\varepsilon = \frac{e_1 - e}{1 - e_1} \quad (\text{Equação 2.4.3})$$

Das relações apresentadas temos que:

$$U_z = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_f} = \frac{\frac{e_1 - e}{1 - e_1}}{\frac{e_1 - e_2}{1 - e_1}} = \frac{e_1 - e}{e_1 - e_2} \quad (\text{Equação 2.4.4})$$

$$\sigma'_2 - \sigma'_1 = u_i \quad \sigma'_2 - \sigma' = u \quad \sigma' - \sigma'_1 = u_i - u$$

$$U_z = \frac{\sigma' - \sigma'_1}{\sigma'_2 - \sigma'_1} = \frac{u_i - u}{u_i} \quad (\text{Equação 2.4.6})$$

A Equação 2.4.6, expressa que o grau de adensamento é igual ao grau da dissipação da pressão neutra.

Como foi admitida a variação linear entre as tensões efetivas e os índices de vazios, pode-se definir que a inclinação da reta corresponde ao coeficiente de compressibilidade (a_v), o qual é definido pela Equação 2.4.7: (PINTO, 2006)

$$a_v = \frac{e_1 - e_2}{\sigma'_2 - \sigma'_1} = - \frac{e_2 - e_1}{\sigma'_2 - \sigma'_1} = - \frac{de}{d\sigma'} \quad (\text{Equação 2.4.7})$$

Como a variação de tensão efetiva corresponde a variação de pressão neutra, de igual valor e sentido contrário, pode-se afirmar o que é expresso pela Equação 2.4.8:

$$a_v = \frac{de}{du} \quad (\text{Equação 2.4.8})$$

O objetivo da teoria é determinar, em qualquer posição da camada que se adense, em qualquer instante de tempo, o grau de adensamento. Considerando um elemento de solo submetido ao processo de adensamento, e em virtude das condições do ensaio, o fluxo ocorre unidirecionalmente na vertical e determina-se a equação de fluxo no solo saturado como a Equação 2.4.9.

$$\frac{\delta V}{\delta t} = \left(k_x \frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + k_y \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} + k_z \frac{\delta^2 h}{\delta z^2} \right) dx dy dz = 0 \quad (\text{Equação 2.4.9})$$

Como o fluxo ocorre unidirecionalmente na vertical temos que :

$$\frac{\delta V}{\delta t} = k \left(\frac{\delta^2 h}{\delta z^2} \right) dx dy dz = 0 \quad (\text{Equação 2.4.10})$$

A variação de volume do solo é a variação de seus índices de vazios, devido a consideração de que a água e os grãos sólidos são incompressíveis em relação á estrutura sólida do solo. Temos que:

$$\frac{\delta V}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{e}{1+e} \right) dx dy dz = \frac{\delta e}{\delta t} \left(\frac{dx dy dz}{1+e} \right) \quad (\text{Equação 2.4.11})$$

Considerando que $dx dy dz / (1+e)$ é o volume dos sólidos e este não varia de acordo com o tempo, ao se igualar essa expressão com a Equação 2.4.10 e simplificando o fator comum temos:

$$k \left(\frac{\delta^2 h}{\delta z^2} \right) = \frac{\delta e}{\delta t} * \frac{1}{1+e} \quad (\text{Equação 2.4.12})$$

Como apenas a carga em excesso é capaz de provocar fluxo, h pode ser substituído pela pressão na água dividida pelo peso específico da água, como $de = a_v \times du$, a Equação 2.4.12 se transforma em:

$$\frac{k(1+e)}{a_v \times \gamma_0} \times \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{\delta u}{\delta t} \quad (\text{Equação 2.4.13})$$

Como expresso em Pinto (2006), o primeiro membro da Equação 2.4.13 reflete as características do solo, tais como permeabilidade, porosidade e compressibilidade, sendo denominado coeficiente de adensamento, c_v . De acordo com as hipóteses previamente determinadas, temos que c_v é constante. Logo temos que :

$$c_v = \frac{k(1+e)}{a_v \times \gamma_0} \quad (\text{Equação 2.4.14})$$

Logo a Equação 2.4.13 se se transforma em:

$$c_v \times \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{\delta u}{\delta t} \quad (\text{Equação 2.4.15})$$

A Equação 2.4.15 indica a variação da pressão ao longo da profundidade, através do tempo e a variação da pressão neutra, como demonstrado indica a variação da deformação.

Como estamos considerando um adensamento unidimensional, temos as seguintes condições de contorno para a solução da Equação 2.4.15:

- a) Existe uma completa drenagem nas duas extremidades da amostra; logo para $t=0$, a sobrepressão é nula (na extremidade $z=0$ e $z=2H_d$), sendo que H_d é a metade da espessura da amostra, e indica a maior distância de percolação da água.
- b) A sobrepressão neutra inicial, constante ao longo de toda altura da amostra, é igual ao acréscimo de pressão que é aplicado a amostra.

Na integração dessa equação, temos portanto a associação da variável tempo ao coeficiente de adensamento e à maior distância de percolação, conforme a Equação 2.4.16:

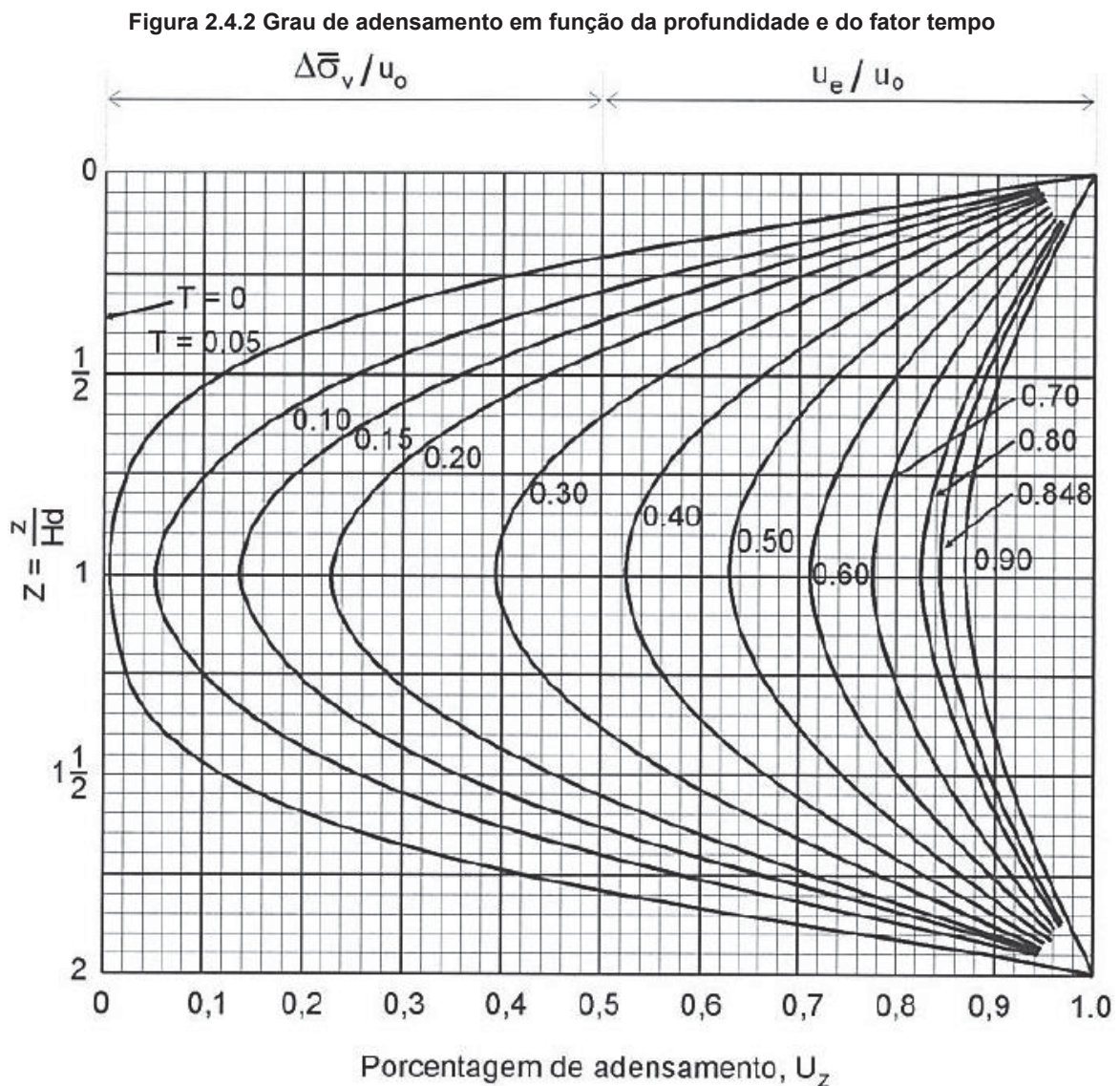
$$\frac{c_v \times t}{H_d^2} = T \quad (\text{Equação 2.4.16})$$

Na Equação 2.4.16, a variável T representa o fator tempo, o qual é adimensional, cv é expresso em cm^2/s , t em s e Hd em cm . Esta equação correlaciona os tempos de recalque às características do solo e as condições de drenagem.

A integração da equação para as condições de contorno determinadas anteriormente, é definido pela expressão:

$$U_z = 1 + \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \times \left(\sin \frac{M \times z}{Hd} \right) \times e^{-M^2 T}, \text{ com } M = \frac{\pi}{2} \times (2m + 1) \quad (\text{Equação 2.4.17})$$

A solução da Equação 2.4.17 para diversos tempos após o carregamento está representado pela Figura 2.4.2. A Figura indica de modo expressivo, como a pressão neutra se apresenta ao longo da espessura, para diversos instantes após o carregamento, através de curvas (isócronas) que correspondem ao fator tempo T .



Fonte: PINTO,2006.

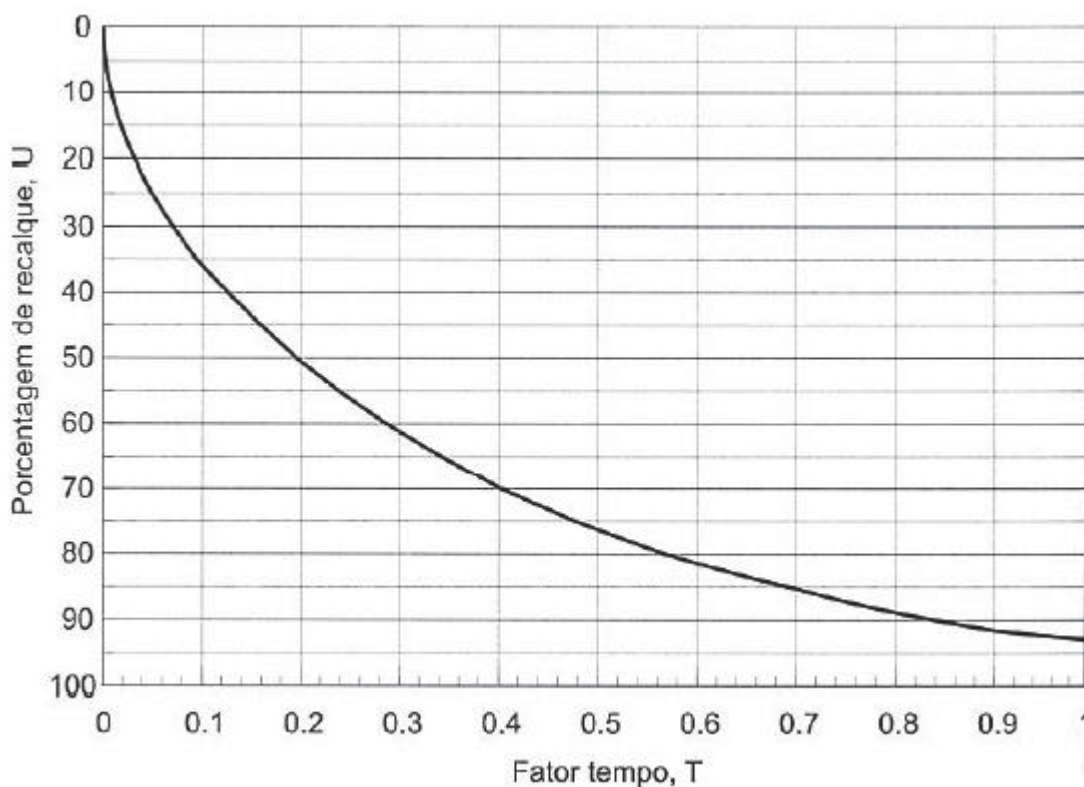
As isócronas mostram como a dissipação da pressão neutra e as deformações ocorrem de modo mais rápido nas proximidades das faces de drenagem quando comparado com o que ocorre no interior da camada. (PINTO, 2006)

O recalque observado na superfície do terreno é resultado da somatória das deformações dos diversos elementos ao longo da profundidade. A média dos graus de adensamento, ao longo da profundidade origina o grau de adensamento médio, o qual é expresso pela Equação 2.4.18

$$U = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T} \quad (\text{Equação 2.4.18})$$

O Grau de Adensamento médio, expresso por U, é denominado Porcentagem de recalque, devido ao fato de indicar a relação entre o recalque sofrido até o instante considerado e o recalque total correspondente ao carregamento. A Equação 2.4.18 é expressa graficamente pela Figura 2.4.3 e valores de U para diversos valores de T estão expressos na Tabela 2.4.1.

Figura 2.4.3 Curva de adensamento



Fonte: PINTO,2006.

Tabela 2.4.1. Fator tempo em função da porcentagem de recalque para adensamento pela Teoria de Terzaghi (Fonte: PINTO,2006)

U(%)	T	U(%)	T	U(%)	T	U(%)	T	U(%)	T
1	0,0001	21	0,0346	41	0,1320	61	0,2970	81	0,5880
2	0,0003	22	0,038	42	0,1380	62	0,3070	82	0,6100
3	0,0007	23	0,0415	43	0,1450	63	0,3180	83	0,6330
4	0,0013	24	0,0452	44	0,1520	64	0,3290	84	0,6580
5	0,0020	25	0,0491	45	0,1590	65	0,3400	85	0,6840
6	0,0028	26	0,0531	46	0,1660	66	0,3510	86	0,7120
7	0,0038	27	0,0572	47	0,1730	67	0,3640	87	0,7420
8	0,0050	28	0,0616	48	0,1810	68	0,3770	88	0,7740
9	0,0064	29	0,066	49	0,1890	69	0,8900	89	0,8090
10	0,0078	30	0,0707	50	0,1970	70	0,4030	90	0,8480
11	0,0095	31	0,0755	51	0,2040	71	0,4160	91	0,8910
12	0,0113	32	0,0804	52	0,2120	72	0,4310	92	0,9380
13	0,0133	33	0,0855	53	0,2210	73	0,4450	93	0,9920
14	0,0154	34	0,0908	54	0,2300	74	0,4610	94	1,0540
15	0,0177	35	0,0962	55	0,2390	75	0,4770	95	1,1280
16	0,0201	36	0,102	56	0,2480	76	0,4930	96	1,2190
17	0,0227	37	0,108	57	0,2570	77	0,5100	97	1,3350
18	0,0254	38	0,113	58	0,2660	78	0,5280	98	1,5000
19	0,0283	39	0,119	59	0,2760	79	0,5470	99	1,7810
20	0,0314	40	0,126	60	0,2870	80	0,5670	100	α

2.5 FÓRMULAS APROXIMADAS

A Equação 2.4.18 pode ser representada aproximadamente pelas seguintes expressões: (CAPUTO,1967)

$$\text{Para } U < 60\% \quad T = \frac{\pi}{4} U^2 \quad \text{Equação 2.5.1}$$

$$\text{Para } U > 60\% \quad T = -0,9332 \log_{10}(1 - U) - 0,0851 \quad \text{Equação 2.5.2}$$

Uma outra fórmula aproximada, a qual é válida para todos os valores de T, é a fórmula dada por Brinch Hansen, expressa pela Equação 2.5.3.

$$U = \sqrt[6]{\frac{T^3}{T^3 + 0,5}} \quad \text{Equação 2.5.3}$$

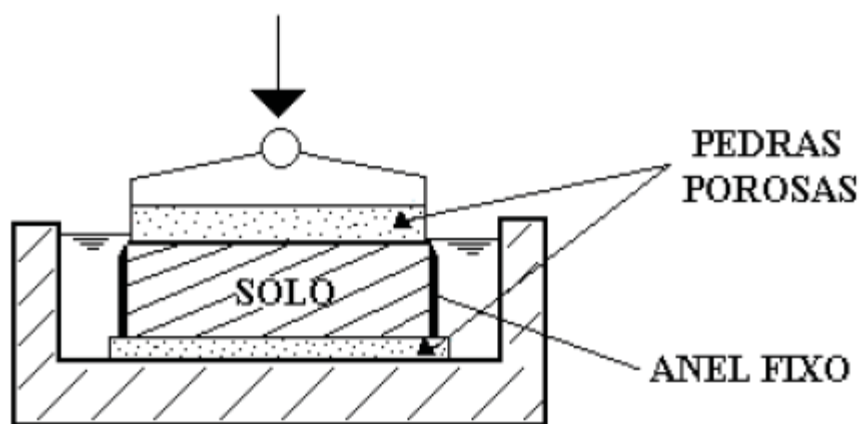
2.6 ENSAIO DE ADENSAMENTO

O objetivo do ensaio de adensamento é a determinação experimental das características do solo que interessam à determinação dos recalques oriundos do adensamento. (CAPUTO,1967)

Como expresso por Maragon (2018), dentre os parâmetros de compressibilidade os quais o engenheiro geotécnico necessita para a execução de projetos e para os estudos dos solos, se destacam o índice de compressão C_c , coeficiente de adensamento C_v e a pressão de pré-adensamento σ'_{vm} . Estes parâmetros são obtidos a partir da realização de ensaios de compressibilidade do solo.

O estudo de compressibilidade dos solos normalmente é efetuado utilizando-se o equipamento denominado edômetro, o qual foi desenvolvido por Terzaghi para fins de estudo das características de compressibilidade e da taxa de compressão do solo com o tempo.

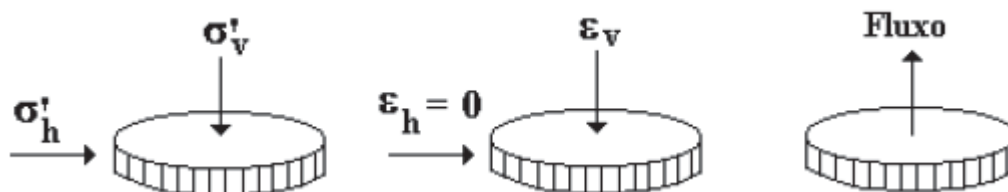
Figura 2.6.1 Edômetro usado nos ensaios de compressão confinada



Fonte: PINTO,2006.

O ensaio de compressão confinada ou ensaio de adensamento é o mais antigo e conhecido para a determinação de parâmetros de compressibilidade do solo. O ensaio consiste em comprimir uma amostra de solo, compactada ou inderfomada, aplicando valores crescentes de tensão vertical, sob a condição de deformação radial nula. As condições de contorno são apresentadas na Figura 2.6.2. (Marangon,2018)

Figura 2.6.2 Condições de contorno do ensaio de compressão confinada



Fonte: MARANGON,2018.

2.6.1 Execução do Ensaio

Para a execução do ensaio a amostra é mantida saturada e utilizando duas pedras porosas, para acelerar a velocidade dos recalques na amostra e diminuir o tempo de ensaio. Durante cada carregamento, são efetuadas leituras referentes aos deslocamentos verticais do topo da amostra e do tempo.

Procedimento resumido do ensaio:

- 1) Moldagem do corpo de prova;
- 2) Saturação da amostra;
- 3) Aplicação do carregamento;
- 4) Leituras dos deslocamentos verticais do topo da amostra através de um extensômetro efetuadas em progressão geométrica do tempo (15s,30s,1min,2min,4min,8min,16min,32 min, 1h,...,24h);
- 5) Plotagem de gráficos com as leituras efetuadas do recalque (variação da altura) versus tensões aplicadas;
- 6) Aplicação de novo carregamento e repetição dos processos anteriores;
- 7) Última fase: descarregamento da amostra.

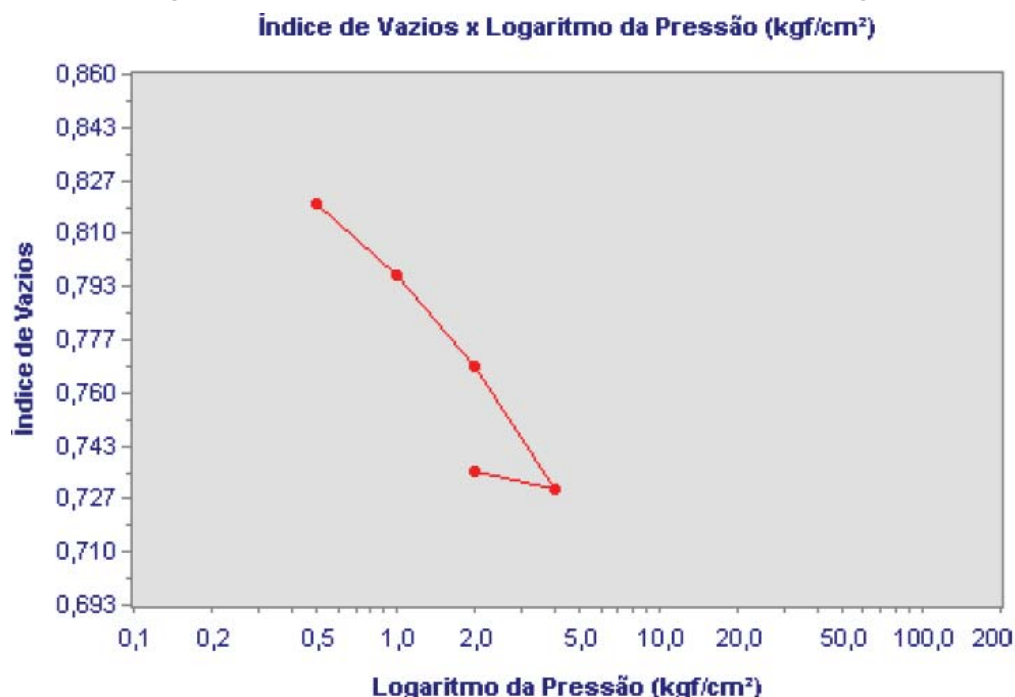
A sequência usual de cargas , em kPa, é: 10, 20, 40, 80 ,...

Os resultados obtidos ao final de cada estágio no ensaio são representados em um gráfico em função do logaritmo do tempo. Normalmente a curva de compressão do solo é representada em função do índice de vazios versus o logaritmo da tensão vertical.

O recalque, ou a deformação final, pode ser calculado em termos do índice de vazios, sendo este portanto o resultado do produto da variação dos índices de vazios e da altura dos sólidos.

2.6.2 Interpretação do Resultado do Ensaio de Adensamento

Figura 2.6.2.1 Resultado de ensaio de adensamento de uma argila



Fonte: Acervo Pessoal.

A partir do gráfico da Figura 2.6.3, pode-se notar que nos primeiros trechos a amostra foi comprimida e no último trecho o processo foi o de descarregamento. O primeiro carregamento significa, segundo Marangon (2018), que os carregamentos que ora são impostos ao solo superam o maior valor por ele já sofrido em sua história de carregamento prévia. O trecho do carregamento virgem, como a amostra nunca experimentou valores de tensão vertical daquela magnitude, diz-se que a amostra está em níveis de tensões correspondentes à condição de “normalmente adensada” (NA). No trecho de descarregamento, a tensão imposta a amostra é inferior a tensão máxima por ela experimentada, por isso é classificada como solo “pré-adensado” (PA). Resumidamente temos :

Tabela 2.6.2.1. Comparação entre pressões atual σ'_v e máxima passada σ'_{vm} (Fonte: MARANGON,2018)

PRESSÃO	COMPORTAMENTO DA ARGILA
$\sigma'_v < \sigma'_{vm}$	Solo pré adensado (PA) Deformações pequenas e reversíveis Comportamento elástico
$\sigma'_v \geq \sigma'_{vm}$	Solo normalmente adensado (NA) Deformações grandes e irreversíveis Comportamento plástico

Para a determinação da tensão de pré adensamento utiliza-se os métodos gráficos, geralmente o Método de Casagrande ou Método Pacheco e Silva.

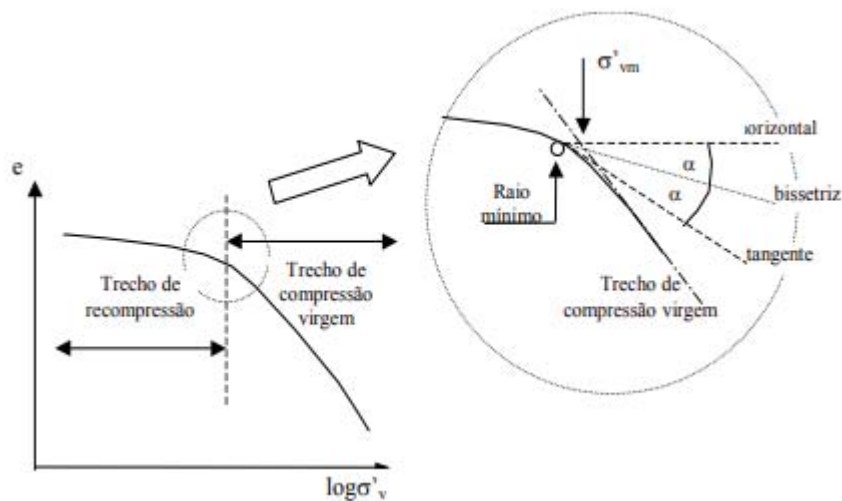
Assim como a tensão de pré adensamento, o C_v também é obtido graficamente, pelo Método de Casagrande ou Método de Taylor.

2.6.2.1 Método de Casagrande para obtenção da tensão de pré adensamento

Este método gráfico consiste em:

- Obter-se na curva de Índice de Vazios X Logaritmo da tensão efetiva, o ponto de menor curvatura;
- Traça-se retas horizontal e tangente a este ponto, de modo que se obtém a bissetriz do ângulo formado entre estas retas;
- A abscissa do ponto de intersecção da bissetriz com o prolongamento da reta virgem corresponde à pressão de pré adensamento.

Figura 2.6.2.1.1 Determinação da tensão de pré adensamento pelo método Casagrande



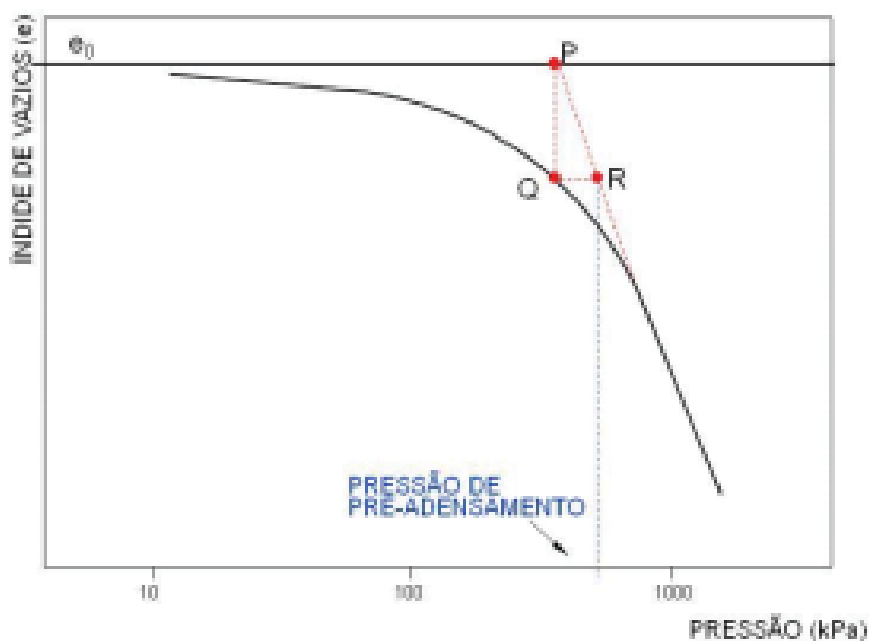
Fonte: Gerscovich.

2.6.2.2 Método Pacheco e Silva para obtenção da tensão de pré adensamento

Como apresentado por Gerscovich, o método Pacheco e Silva para obtenção da tensão de pré adensamento consiste em:

- Traçar uma reta horizontal pela ordenada correspondente ao índice de vazios inicial, no gráfico de Índice de Vazios X Logaritmo da tensão efetiva;
- Prolongar a reta virgem e determinar seu ponto de intersecção com a reta horizontal traçada;
- Traçar uma reta vertical do ponto de intersecção das retas até a curva do gráfico;
- Traçar uma reta horizontal do ponto de intersecção com a curva do gráfico determinado no item anterior, até interceptar o prolongamento da reta virgem. A abscissa deste novo ponto de intersecção corresponde a pressão de pré adensamento.

Figura 2.6.2.2.1 Determinação da tensão de pré adensamento pelo método Pacheco e Silva

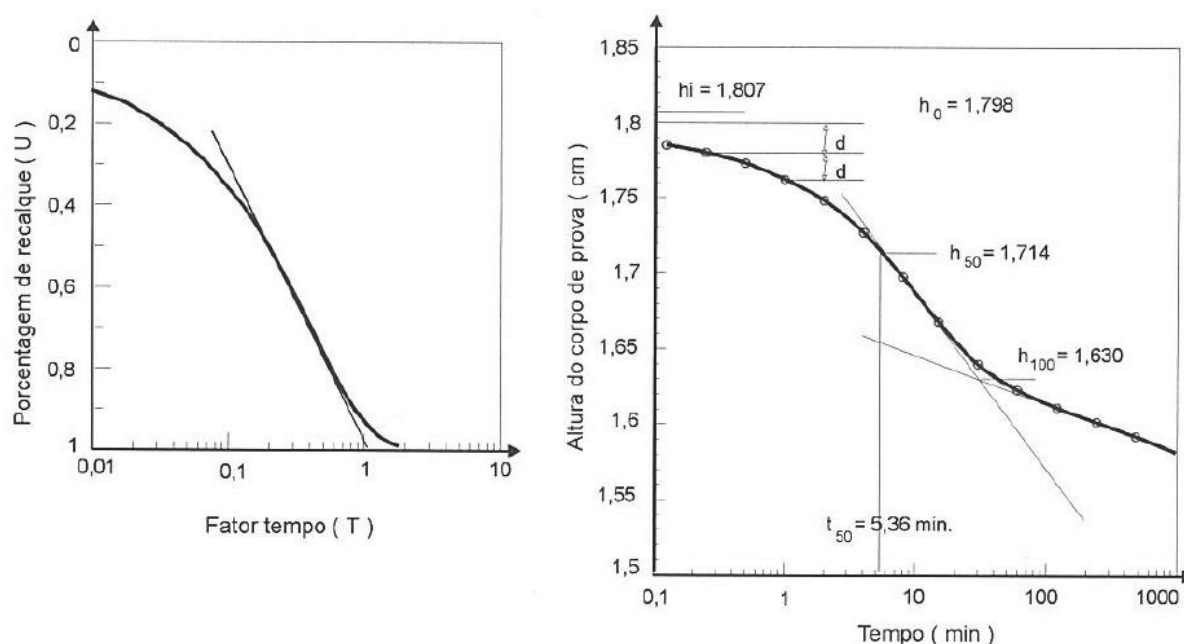


Fonte: Gerscovich.

2.6.2.3 Método de Casagrande para obtenção do C_v

Este método, conforme descrito em Pinto (2006), baseia-se no formato da curva de porcentagem de recalque (U), em função do fator de tempo (T) lançada em uma escala semilogarítmica. Os dados obtidos no ensaio quando são colocados em função do logaritmo do tempo, geram um realce sobre o trecho de adensamento primário.

Figura 2.6.2.3.1 Determinação do C_v pelo método de Casagrande



Fonte: PINTO, 2006.

Conforme descrito em Pinto (2006), as operações para obtenção do C_v pelo método Casagrande são as seguintes:

- 1) Determina-se a altura do CP que correspondem ao início do adensamento primário, o qual não corresponde a altura antes da aplicação da carga necessariamente. Devido ao fato de a parte inicial da curva ser parabólica, a ordenada tom
- 2) ada para um tempo qualquer no trecho inicial ,t, verifica-se a diferença desta ordenada com a ordenada para um tempo 4t e soma-se a diferença á ordenada do tempo, deste modo obtém-se a ordenada correspondente ao adensamento primário.
- 3) Estima-se a altura do CP correspondente ao final do adensamento primário pela interseção da tangente ao ponto de inflexão da curva com a assíntota ao trecho final da curva.
- 4) Determina-se a altura do CP quando é atingido 50% do adensamento, a qual é a média dos dois valores obtidos anteriormente.
- 5) Pela curva se verifica o tempo em que teria ocorrido os 50% dos recalques devido ao adensamento primário.
- 6) Calcula-se o coeficiente de adensamento pela Equação 2.6.3.1.1, onde 0,197 é o fator tempo correspondente a 50% de adensamento; t_{50} é o

tempo em que ocorreram 50% de recalque e H_d é a metade da altura média do CP.

$$C_v = \frac{0,197 \times H_d^2}{t_{50}} \quad \text{Equação 2.6.3.1.1}$$

2.6.2.4 Método Taylor para obtenção do C_v

Assim como descrito em Pinto (2006), este método baseia-se no formato da curva de U em função da T, quando a raiz quadrada do fator tempo é colocada em abscissas, esta representação dos resultados realça o trecho inicial da curva, que devido ao fato de ser parabólico, parece reto.

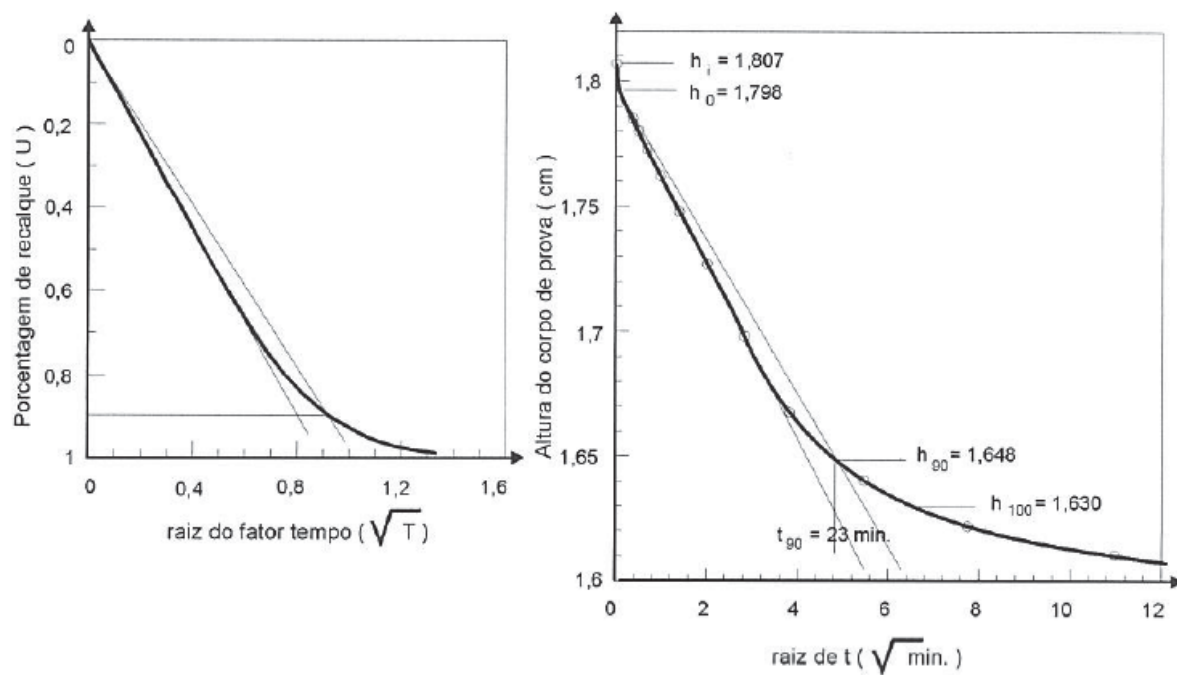
Neste método os dados obtidos no ensaio são colocados em função da raiz quadrada do tempo, como ilustrado na Figura 2.6.2.4.1. O trecho inicial é aproximadamente uma reta assim como o trecho correspondente da curva teórica. O ponto onde esta reta intercepta o eixo das ordenadas, indica a altura do CP antes do adensamento. A diferença entre este ponto e a altura do CP antes do carregamento indica a compressão inicial.

Do início do adensamento primário, traça-se uma reta com a abscissas iguais a 1,15 vezes as abscissas correspondentes da reta inicial. O ponto de interseção da reta com a curva do ensaio indica o ponto em que 90% do adensamento teriam ocorrido. Definido o ponto em que ocorrem 90% de recalques, define-se o tempo em que isso ocorreu, t_{90} , e a partir da Equação 2.6.2.4

.1 pode-se calcular o coeficiente de adensamento:

$$C_v = \frac{0,848 \times H_d^2}{t_{90}} \quad \text{Equação 2.6.2.4.1}$$

Figura 2.6.2.4.1 Determinação do C_v pelo método de Taylor



Fonte: PINTO,2006.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo encontram-se descritas as etapas a serem realizadas no trabalho: realização de ensaios de adensamento em uma amostra de solo sem adição de rejeitos e uma amostra de solo com adição de vinhaça e fibras. Além da descrição das atividades, neste capítulo também se encontra a descrição do material que será utilizado para ensaio.

3.1 MATERIAL

Com base nos estudos realizados por Souza (2018), foi escolhido o material proveniente do mesmo local que o referido autor, nas proximidades da Central de Abastecimento de Goiás S.A (CEASA), nas coordenadas geográficas: 16°37'22,4" S e 49°12'09,9" W (Figura 3.1.1).

Figura 3.1.1 Área de coleta das amostras. Proximidades da região da Central de Abastecimento de Goiás S.A (CEASA)



Fonte: SOUZA, 2018.

Para a pesquisa realizada por Souza (2018), foram extraídos 300 quilos de solo, os quais não foram utilizados em sua totalidade em ensaios referentes a pesquisa e em ensaios didáticos do laboratório de mecânica dos solos do IFG-Campus Goiânia. Por ainda, haver amostra em quantidade mais do que suficiente

para a realização da presente pesquisa foi utilizado este material, bem como a caracterização deste realizada por Souza (2018).

Souza (2018) realizou os ensaios de granulometria, massa específica dos grãos e limites de consistência, para se prever o comportamento do solo. Os resultados destes ensaios estão apresentados nas Tabelas 3.1.1 e 3.1.2. Com estes resultados o referido autor chegou a conclusão de que o solo se trata de uma argila siltosa segundo classificação TRB, argila arenosa de baixa plasticidade segundo a SUCS e de acordo com Oliveira (2007) *apud* Souza (2018), utilizando a classificação MCT, o solo se trata de uma argila de comportamento laterítico, ou seja, solo com elevados índices de vazios, elevada capacidade de suporte quando compactado e não expansível na presença de água.

Tabela 3.1.1 – Resumo das frações granulométricas do solo estudado de acordo com escala granulométrica da NBR 6502 (Fonte: SOUZA,2018)

<i>Propriedades</i>	<i>Resultado</i>
Argila (%)	46,1%
Silte (%)	14,3%
Areia (%)	38,9%
Pedregulho (%)	0,7%

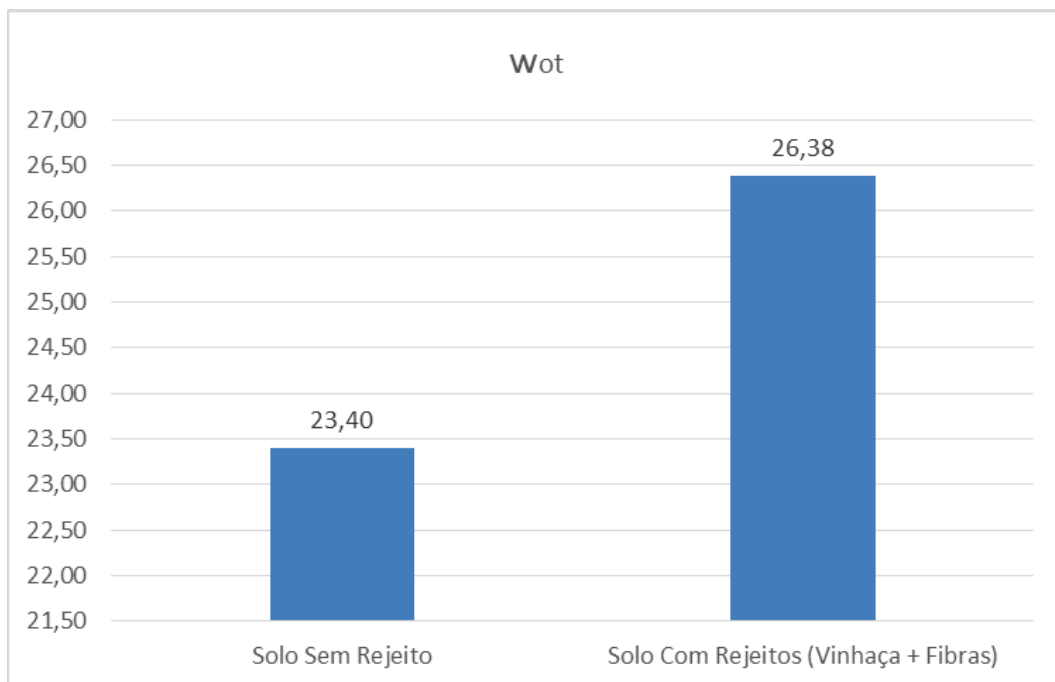
Tabela 3.1.2 – Resultados dos Ensaios de Limite de Liquidez, Limites de Plasticidade e Massa Específica dos grãos (Fonte: SOUZA,2018)

<i>Propriedades</i>	<i>Resultados</i>
Limite de liquidez (w_L)(%)	42
Limite de Plasticidade (W_p)(%)	26
Índice de Plasticidade (IP)(%)	16
Massa específica real ou dos grãos (g/cm^3)	2,767

O ensaio de compactação realizado por Souza (2018), chegou aos valores de umidade ótima $w_{ót}=23,4\%$ e massa específica seca máxima de $\rho_{dmáx}=1,554\text{ g/cm}^3$. Quando realizados, em ensaios preliminares, utilizando vinhaça ao invés de água os resultados e acrescentando as fibras, os valores de umidade ótima e massa específica seca máxima obtidos foram, respectivamente, $w_{ót}=26,38\%$ e $\rho_{dmáx}=1,396\text{ g/cm}^3$. Estes parâmetros são necessários para a moldagem dos corpos de prova.

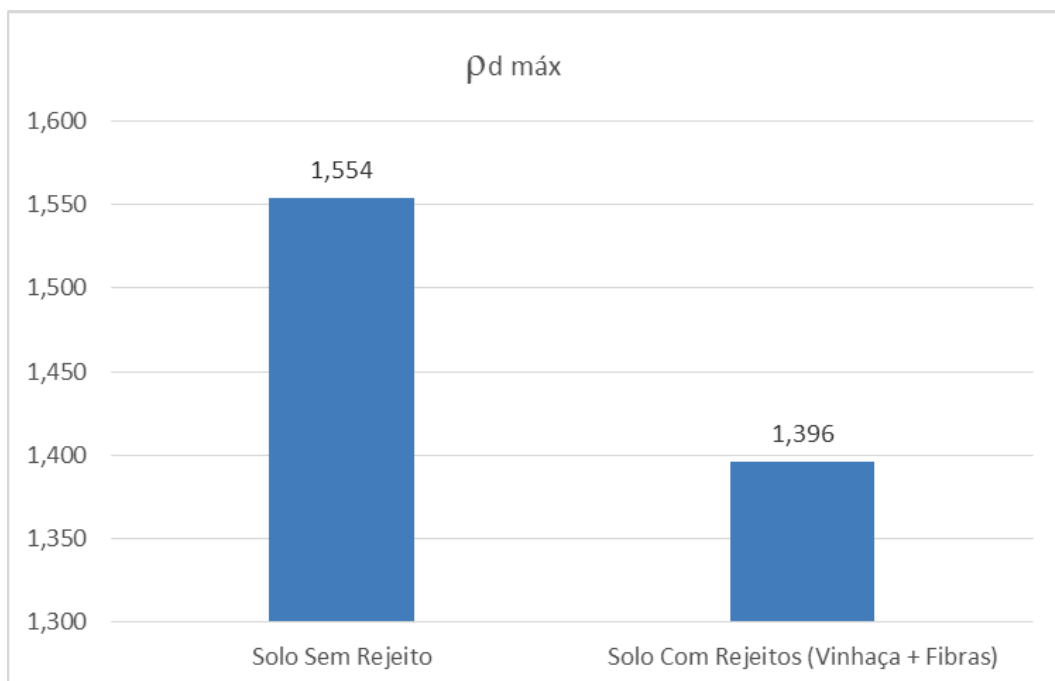
Comparando-se estes valores encontrados para as situações sem adição e com adição de rejeitos temos os gráficos a seguir.

Gráfico 3.1. 1 Valores de umidade ótima encontradas no ensaio de compactação para solo sem rejeitos e misturas de solo e rejeitos



Fonte: do autor, 2018.

Gráfico 3.1. 2 Valores de massa específica seca máxima encontradas no ensaio de compactação para solo sem rejeitos e misturas de solo e rejeitos



Fonte: do autor, 2018.

A vinhaça e as fibras do bagaço de cana a serem utilizados nos ensaios, foram escolhidos com base nos ensaios realizados por Ávila *et al* (2017), sobre estabilização e controle de processos erosivos, e por Batista, (Santos e Silva (2015), sobre o influência da adição da vinhaça no comportamento do mini CBR de solos finos da região de Goiânia, sendo utilizado material proveniente da mesma usina de etanol, a usina Centro álcool, localizada na GO 222, região rural da cidade de Inhumas, estado de Goiás

3.2 REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE ADENSAMENTO

A seguir estão descritas as etapas a serem realizadas na execução dos ensaios de adensamento do solo sem adição de rejeitos e com adição das fibras e de vinhaça, seguindo a sequência de carga (kgf/cm²): 0,5 ; 1,0; 2,0; 4,0; e 2,0.

3.2.1 Moldagem do corpo de prova

Os dados necessários para moldagem dos corpos de prova, valores de massa específica seca máxima e umidade ótima, foram obtidos no ensaio de compactação realizados por Souza (2018), e em ensaios de compactação do solo com a adição de rejeitos.

Utilizar-se-á para a etapa de moldagem: cilindro metálico, equipamento para compactação estática, régua metálica e espátulas. A prensagem da camada de solo dos corpos de prova será realizada com o auxílio de uma prensa hidráulica (compactação estática), compactando a amostra na umidade ótima do ensaio de compactação com grau de compactação (GC) igual a 95%. Após a compactação, a amostra de solo é extraída do cilindro para a preparação do corpo de prova.

Figura 3.2.1. 1. Corpo de prova extraído do cilindro



Fonte: Acervo Pessoal.

Após extração do corpo de prova compactado, determina-se as medidas do anel de adensamento e em seguida unta-se internamente o mesmo de vaselina. Então crava-se o anel de adensamento em um corpo de prova compactado, a fim de se obter a amostra a ser ensaiada.

Após a cravação, realiza-se o rasamento do topo e da base, pesando-se o conjunto de amostra +anel, até a obtenção da massa calculada. Desta amostra retira-se também amostras para determinação da umidade.

Figura 3.2.1. 2. Cravação do anel



Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 3.2.1. 3. Conjunto Anel+ solo



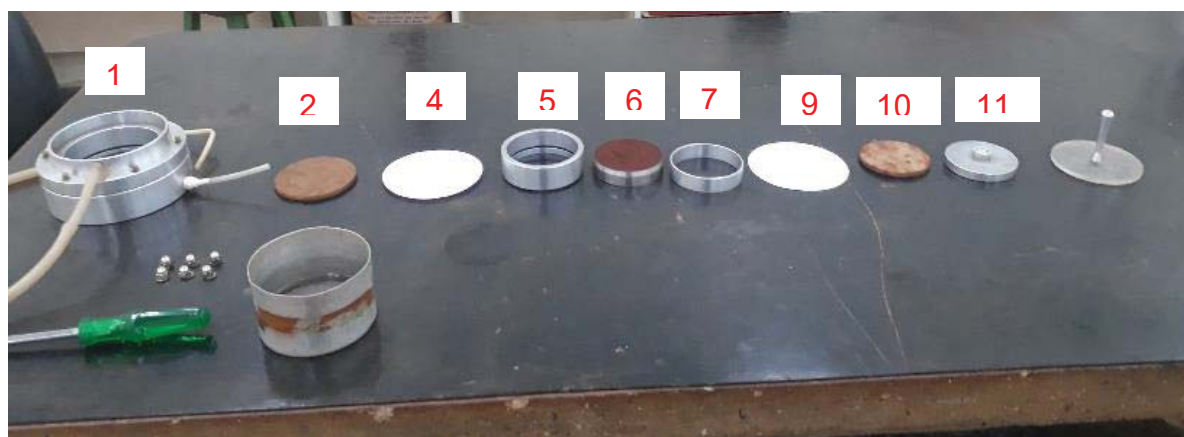
Fonte: Acervo Pessoal.

3.2.2 Montagem dos corpos de prova na célula de adensamento

As pedras porosas e os filtros são umedecidos antes de se iniciar a montagem da célula de adensamento. Em seguida iniciou-se o processo de montagem, o qual seguiu a ordem descrita na sequência e apresentada na Figura 3.2.2.1:

- 1) Colocou-se a base rígida;
- 2) Alocou-se a pedra porosa inferior;
- 3) Encaixou-se a segunda parte da célula;
- 4) Alocou-se o papel filtro;
- 5) Encaixou-se o anel redutor, devidamente untado com vaselina;
- 6) Encaixou-se o anel com a amostra, untado externamente com vaselina, sendo empurrado por peça de acrílico;
- 7) Encaixou-se o anel untado interna e externamente com vaselina, sendo empurrado por peça de acrílico;
- 8) Parafusou-se a segunda parte do molde;
- 9) Alocou-se então papel filtro;
- 10) Alocou-se a pedra porosa;
- 11) Colocou-se o cabeçote.

Figura 3.2.2.1. Ordem de montagem da célula de adensamento



Fonte: Acervo Pessoal.

3.2.3 Montagem da célula de adensamento no equipamento

Colocou-se a célula no equipamento e realizou-se o ajuste no equipamento. Com o braço do equipamento travado, para que não haja incremento de carga, desparafusou-se os parafusos laterais e abaixou-se a base onde ficará a célula, em seguida encaixou-se a célula e girou-se a mola da base de modo que este encoste no cabeçote. Na sequência desparafusou-se os parafusos laterais e sobe-se a base onde está o a célula, tomando cuidado com o extensômetro.

Em seguida verificou-se a agulha do extensômetro, o prumo vertical do molde, o nivelamento do braço e o travamento deste. Então ligou-se a mangueira da bureta no corpo de prova, colocou-se água na bureta. O corpo de prova fica então 24h saturando.

Figura 3.2.3.1. Célula de adensamento montada no equipamento.



Fonte: Acervo Pessoal.

3.2.4 Carregamentos e descarregamento

Inicialmente fez-se o lançamento dos dados iniciais do ensaio, tais como umidade de moldagem, massa específica seca máxima e umidade ótima do solo ensaiado, no software faz as leituras e as grava. Após esta etapa, verificou-se se o computador está pronto para o início do ensaio, colocou-se o peso no braço do equipamento, zerou-se a leitura do extensômetro e soltou-se o braço do equipamento e simultaneamente deu-se início no ensaio.

Iniciou-se então o processo de carregamento do CP, em estágios correspondentes as pressões nominais de carregamento e descarregamento que serão aplicadas. Cada estágio teve duração de 24 h, com leituras de deflexão (mm)

X tempo (s), a partir do momento em que é colocada a carga. As leituras tiveram início com $t = 0s$, e seguiu com $t = 7,5s$, $t = 15s$, $t = 30s$, $t = 1min$, ... , $t = 24h$. Ao fim de cada um dos estágios aumentou-se a carga aplicada ao CP, de modo que a nova carga teve valor igual ao dobro da carga anterior.

Depois dos estágios de carregamento, iniciou-se o estágio de descarregamento, no qual a carga passou a sofrer variação inversa a do carregamento ao final de cada estágio.

Tabela 3.2.4.1 – Estágios do Carregamento (Fonte: do autor)

Etapa do Ensaio	Pressão
-----	(kgf/cm ²)
Carregamento 01	0,5
Carregamento 02	1,0
Carregamento 03	2,0
Carregamento 04	4,0
Descarregamento 01	2,0

Ao final do ensaio, desmontou-se o anel da célula de adensamento, retirando a amostra de solo ensaiada do anel de adensamento, pesou-se a amostra ensaiada e colocou-se esta amostra na estufa a $105^{\circ}C$ por 24h a fim de se encontrar a umidade final do ensaio. Após a obtenção da umidade final do ensaio, lança-se este dados no software para obtenção do Grau de Saturação ao final do ensaio.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo encontram-se apresentados e analisados os resultados obtidos durante a realização da pesquisa de adensamento do solo com e sem o acréscimo de resíduos.

A partir dos dados obtidos no ensaio foi possível traçar os gráficos de Altura do CP (mm) X Raiz quadrada do tempo (min), para cada estágio, os quais estão apresentados no Apêndice. E partindo deste gráfico é possível calcularmos o coeficiente de adensamento (C_v). A partir dos dados obtidos por todos os estágios de carregamento obtém-se os gráficos Índice de Vazios x Pressão (Kgf/cm^2) e Índice de Vazios x Logaritmo da Pressão (Kgf/cm^2), dos quais nos baseamos para calcularmos o coeficiente de compressibilidade (av) e o coeficiente de variação volumétrica (mv).

Para realizar a comparação entre o solo com e sem a adição de vinhaça e fibras, o que é um dos objetivos, é necessário analisar-se o comportamento do solo em ambas as situações durante o mesmo estágio de carregamento. Por este motivo será utilizado para análise os resultados obtidos durante o carregamento de 200 kPa. Portanto serão obtidos os parâmetros C_v , av e mv , para as duas amostras durante a mesma fase do carregamento.

4.1 ENSAIO DE ADENSAMENTO DE SOLO TROPICAL SEM ADIÇÃO DE REJEITOS

A Tabela 4.1.1 apresenta os dados obtidos dos ensaios de adensamento realizados no laboratório de mecânica dos solos do IFG Campus Goiânia, os que originaram o gráfico Altura do CP (mm) X Raiz quadrada do tempo (min) para o carregamento de 200 kPa da amostra de solo tropical sem a adição de vinhaça e fibras. A partir desta tabela gerou-se o gráfico apresentado na Figura 4.1.1

A partir do gráfico a apresentado pela Figura 4.1.1, calcula-se o Coeficiente de adensamento (C_v) através do Método de Taylor . Por tanto a fórmula utilizada será a Equação 2.6.2.4.1.

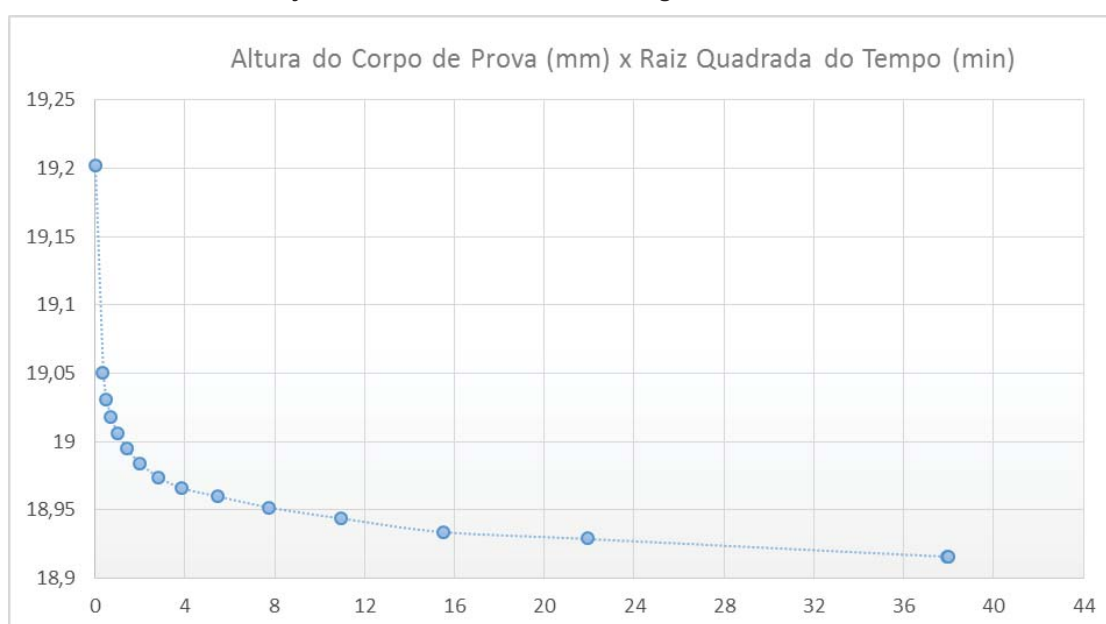
$$C_v = \frac{0,848 \times H_d^2}{t_{90}}$$

Equação 2.6.2.4.1

Tabela 4.1.1. Adensamento Unidimensional solo tropical sem adição de rejeitos da usina de etanol – carregamento de 200 kPa. (Fonte: do autor)

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	0,798	19,202
0,125	8	0,4	0,950	19,05
0,25	15	0,5	0,969	19,031
0,5	30	0,7	0,982	19,018
1	60	1,0	0,994	19,006
2	120	1,4	1,005	18,995
4	240	2,0	1,016	18,984
8	480	2,8	1,026	18,974
15	900	3,9	1,034	18,966
30	1800	5,5	1,040	18,96
60	3600	7,7	1,048	18,952
120	7200	11,0	1,056	18,944
240	14400	15,5	1,066	18,934
480	28800	21,9	1,071	18,929
1440	86400	37,9	1,084	18,916
1441,800	86508	38,0	1,084	18,916

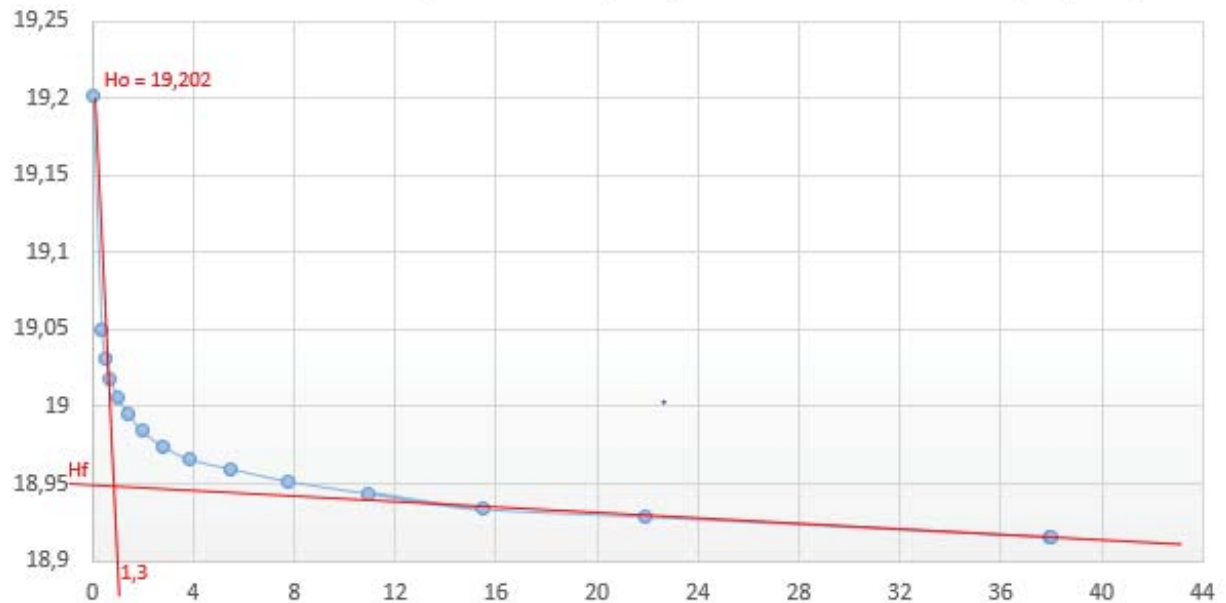
Figura 4.1.1. Gráfico Altura do CP (mm) X Raiz quadrada do tempo (min) solo tropical sem adição de rejeitos da usina de etanol – carregamento de 200 kPa.



Fonte : do Autor.

Seguindo os passos apresentados no item 2.6.2.4 para aplicação do método de Taylor, encontramos :

Figura 4.1.2. Obtenção gráfica do CV.



Fonte : do Autor.

$$\sqrt{t} = 1,3$$

$$t = 1,3^2 = 1,69 \text{ min} = 101,40 \text{ s}$$

$$H_0 = 19,202 \text{ mm} = 1,9202 \text{ cm}$$

$$H_f = 18,950 \text{ mm} = 1,895 \text{ cm}$$

$$H_m = \frac{H_0 + H_f}{2} = \frac{1,9202 + 1,8950}{2} = 1,9076$$

$$H_d = \frac{H_m}{2} = \frac{1,9076}{2} = 0,9538 \text{ cm}$$

$$T_{90} = 0,848 \text{ (Tabela 2.4.1)}$$

Com a aplicação das Equações 2.6.2.4.1, temos que:

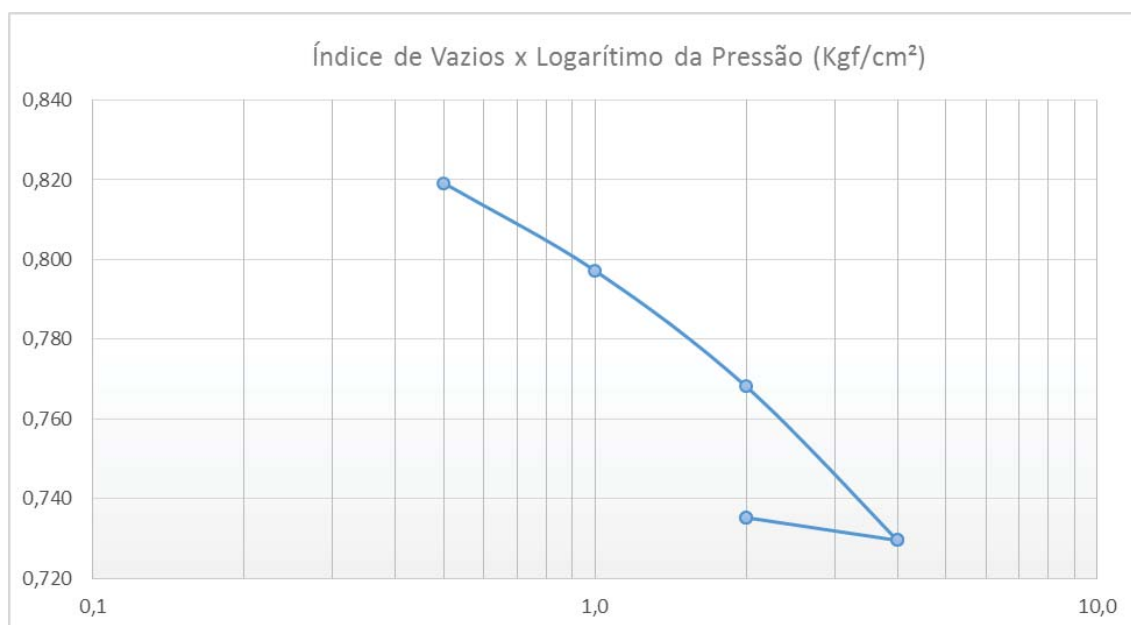
$$C_v = \frac{0,848 \times (0,9538)^2}{101,40} = 7,608 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$C_v = 7,608 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s} = 7,608 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} = 6,57 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{dia}$$

$$C_v = 6,57 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{dia}$$

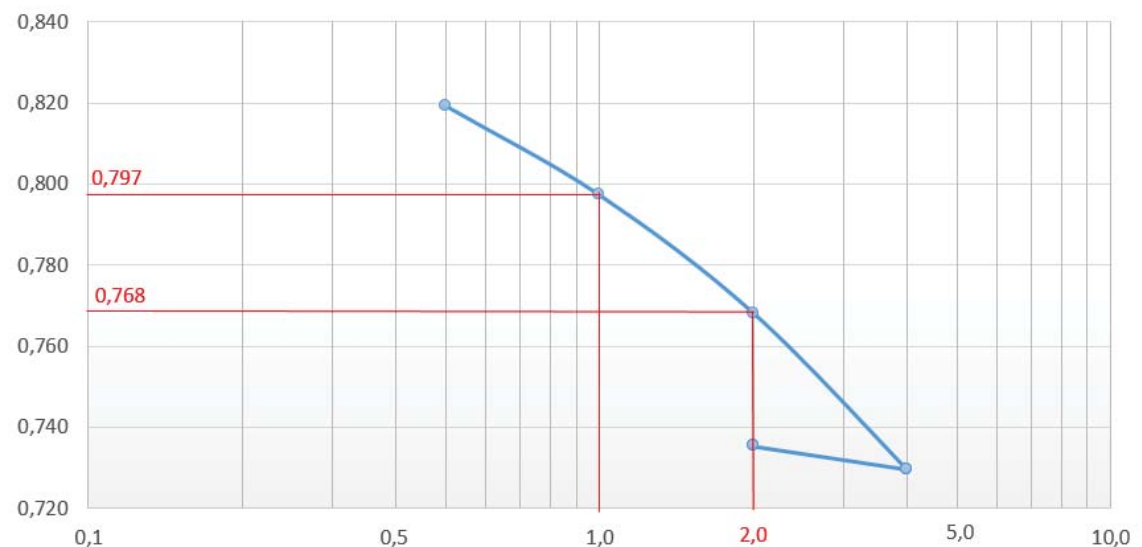
A partir do Gráfico de Índice de Vazios x Logaritmo da Pressão (Kgf/cm²), faz-se a análise para a determinação da tensão efetiva de pré-adensamento. A Figura 4.1.3 apresenta tal gráfico, para o solo sem adição de rejeitos. A partir deste gráfico não foi possível verificar a tensão de pré-adensamento para as situações de solo sem adição de rejeitos, sendo portanto o carregamento inicial de 0,5 kgf/cm², um valor alto para a obtenção de tal tensão.

Figura 4.1.3. Índice de Vazios x Logaritmo da Pressão (Kgf/cm²) para amostra sem adição de rejeitos.



Fonte : do Autor.

O gráfico da Figura 4.1.4, apresenta a obtenção do parâmetro Coeficiente de Compressibilidade (a_v).

Figura 4.1.4. Obtenção gráfica do a_v .

Fonte : do Autor

$$a_v = \frac{0,797 - 0,768}{\log \frac{200}{100}} = 0,0963$$

A partir dos dados do ensaio apresentados no Apêndice temos:

Tabela 4.1.1. Resumo dos parâmetros obtidos no ensaio do solo sem adição de rejeitos, apresentados no Apêndice. (Fonte: do autor)

<i>Parâmetro</i>	<i>Resultado</i>
e_0	0,870
ρ_d (g/cm ³)	1,480
γ_d (KN/m ³)	14,52
ρ_s (g/cm ³)	2,767
γ_s (KN/m ³)	27,14
GC (%)	95,00
Sr (%)	72,50
w (%)	23,40

$$\rho_{nat} = \frac{\rho_d}{\frac{1}{1+w}} = \rho_d \times (1+w) = 1,480 \times 1,234 = 1,826 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{nat} = 9,81 \times \rho_{nat} = 9,81 \times 1,826 = 17,92 \text{ KN/m}^3$$

4.2 ENSAIO DE ADENSAMENTO DE SOLO TROPICAL COM ADIÇÃO DE REJEITOS

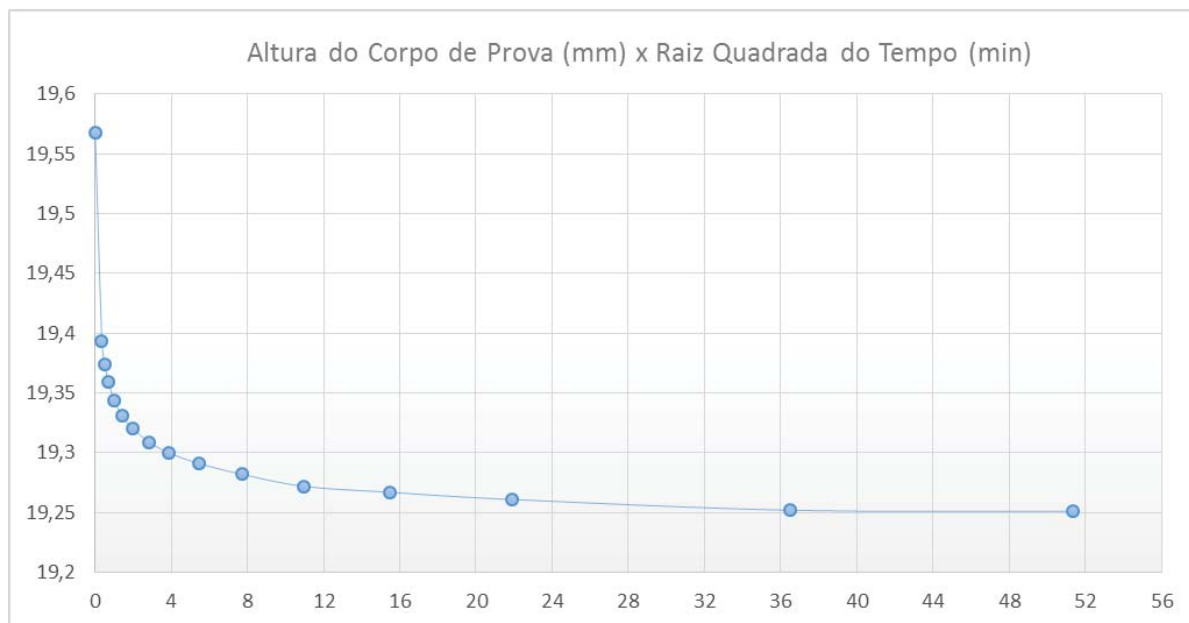
A Tabela 4.2.1 apresenta os dados obtidos dos ensaios de adensamento realizados no laboratório de mecânica dos solos do IFG Campus Goiânia, os que originaram o gráfico Altura do CP (mm) X Raiz quadrada do tempo (min) para o carregamento de 200 kPa da amostra de solo tropical com a adição de vinhaça e fibras. A partir desta tabela gerou-se o gráfico apresentado na Figura 4.2.1

A partir do gráfico a apresentado pela Figura 4..1, calcula-se o Coeficiente de adensamento (C_v) através do Método de Taylor . Por tanto a fórmula utilizada será a Equação 2.6.2.4.1.

Tabela 4.2.1. Adensamento Unidimensional solo tropical com adição de rejeitos da usina de etanol – carregamento de 200 kPa. (Fonte: do autor)

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	0,889	19,111
0,125	8	0,4	1,134	18,866
0,25	15	0,5	1,162	18,838
0,5	30	0,7	1,184	18,816
1	60	1,0	1,203	18,797
2	120	1,4	1,220	18,78
4	240	2,0	1,236	18,764
8	480	2,8	1,249	18,751
15	900	3,9	1,261	18,739
30	1800	5,5	1,273	18,727
60	3600	7,7	1,284	18,716
120	7200	11,0	1,292	18,708
240	14400	15,5	1,303	18,697
480	28800	21,9	1,312	18,688
1.440,0	86400	37,9	1,328	18,672
1.462,7	87762	38,2	1,328	18,672

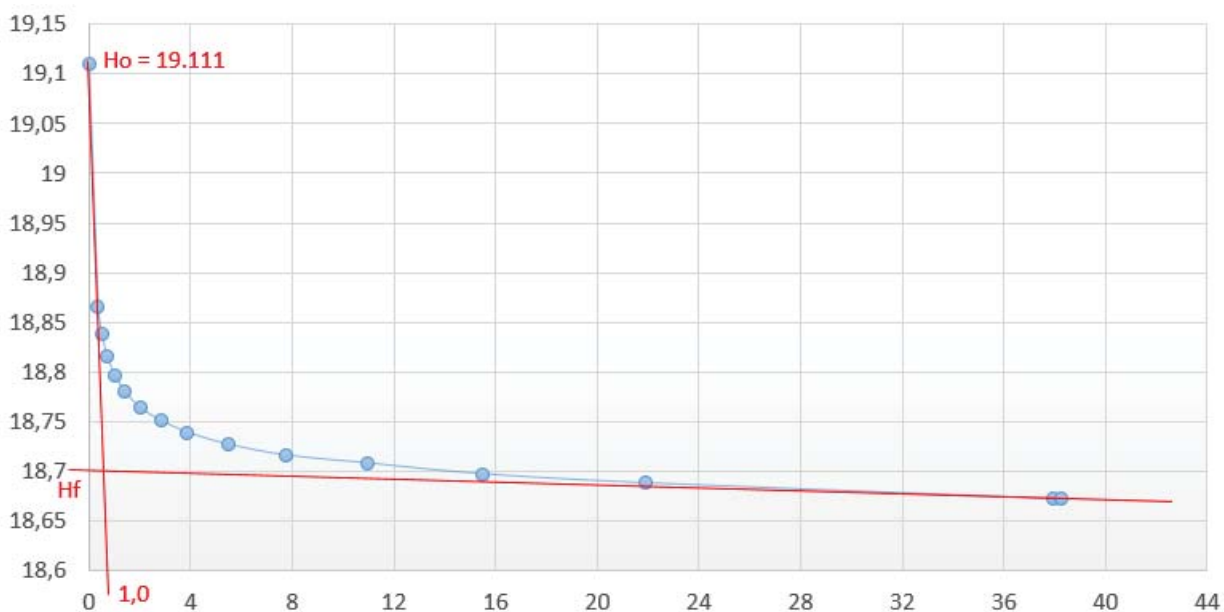
Figura 4.2.1. Gráfico Altura do CP (mm) X Raiz quadrada do tempo (min) solo tropical com adição de rejeitos da usina de etanol – carregamento de 200 kPa.



Fonte : do Autor.

Seguindo os passos apresentados no item 2.6.2.4 para aplicação do método de Taylor, encontramos :

Figura 4.2.2. Obtenção gráfica do CV.



Fonte : do Autor.

$$\sqrt{t} = 1,0$$

$$t = 1,0^2 = 1,00 \text{ min} = 60,00 \text{ s}$$

$$H_0 = 19,111 \text{ mm} = 1,9111 \text{ cm}$$

$$H_f = 18,700 \text{ mm} = 1,8700 \text{ cm}$$

$$H_m = \frac{H_0 + H_f}{2} = \frac{1,9111 + 1,8700}{2} = 1,89055 \text{ cm}$$

$$H_d = \frac{H_m}{2} = \frac{1,89055}{2} = 0,9452 \text{ cm}$$

$$T_{90} = 0,848 \text{ (Tabela 2.4.1)}$$

Com a aplicação das Equações 2.6.2.4.1, temos que:

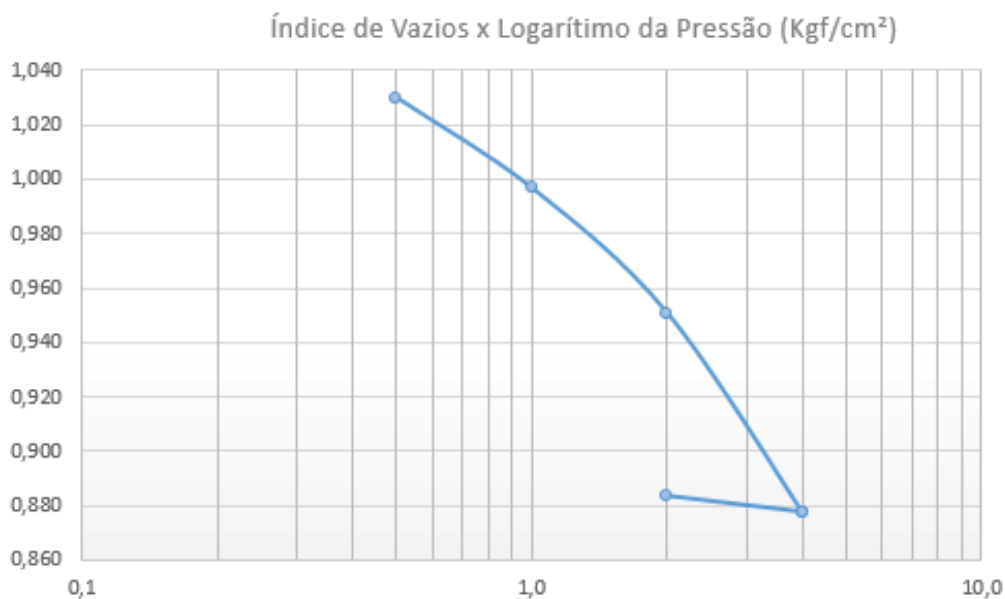
$$C_v = \frac{0,848 \times 0,9452}{60} = 12,62 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$C_v = 12,62 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s} = 12,62 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} = 10,90 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{dia}$$

$$C_v = 10,90 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{dia}$$

A partir do Gráfico de Índice de Vazios x Logaritmo da Pressão (Kgf/cm²), faz-se a análise para a determinação da tensão efetiva de pré-adensamento. A Figura 4.2.3 apresenta tal gráfico, para o solo sem adição de rejeitos. A partir deste gráfico não foi possível verificar a tensão de pré-adensamento para as situações de solo sem adição de rejeitos, sendo portanto o carregamento inicial de 0,5 kgf/cm², um valor alto para a obtenção de tal tensão.

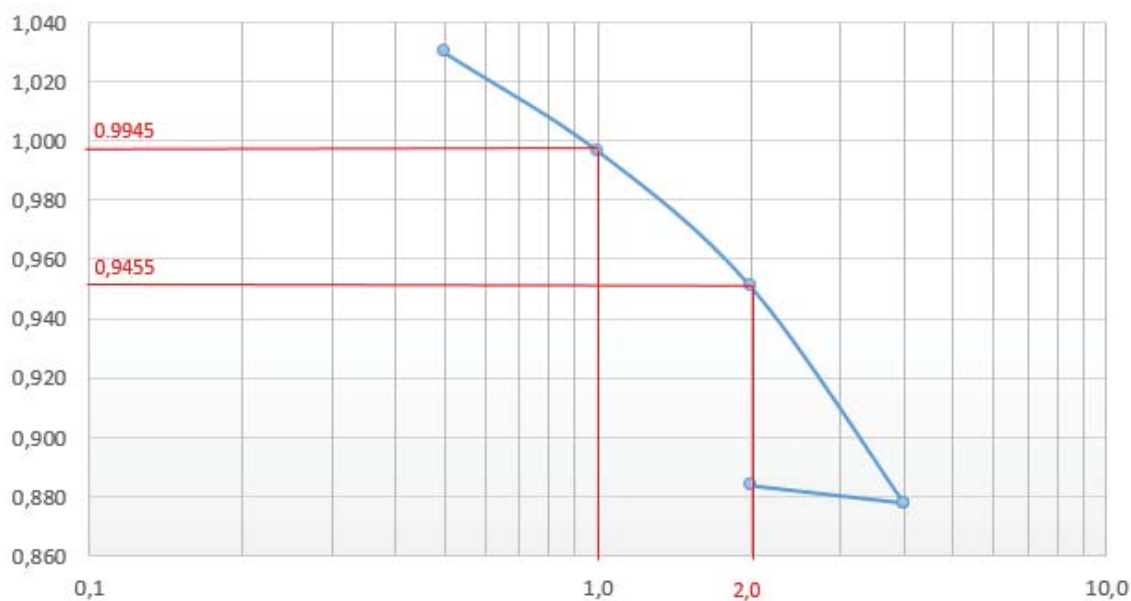
Figura 4.2.3. Índice de Vazios x Logaritmo da Pressão (Kgf/cm²) para amostra com adição de rejeitos.



Fonte : do Autor.

O gráfico da Figura 4.1.4, apresenta a obtenção do parâmetro Coeficiente de Compressibilidade (a_v).

Figura 4.2.4. Obtenção gráfica do a_v .



Fonte : do Autor

$$a_v = \frac{0,9945 - 0,9455}{\log \frac{200}{100}} = 0,1627$$

A partir dos dados do ensaio apresentados no Apêndice temos:

Tabela 4.1.1. Resumo dos parâmetros obtidos no ensaio do solo com adição de rejeitos, apresentados no Apêndice. (Fonte: do autor)

<i>Parâmetros</i>	<i>Resultados</i>
e_0	1,09
ρ_d (g/cm ³)	1,324
γ_d (KN/m ³)	12,99
ρ_s (g/cm ³)	2,767
γ_s (KN/m ³)	27,14
GC (%)	94,8
Sr (%)	65,5
w (%)	26,4

$$\rho_{nat} = \frac{\rho_d}{\frac{1}{(1+w)}} = \rho_d \times (1+w) = 1,324 \times 1,264 = 1,673 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{nat} = 9,81 \times \rho_{nat} = 9,81 \times 1,673 = 16,42 \text{ KN/m}^3$$

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE PARAMETROS OBTIDOS ENTRE OS ENSAIOS DE ADENSAMENTO DE SOLO TROPICAL COM E SEM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA USINA DE ETANOL

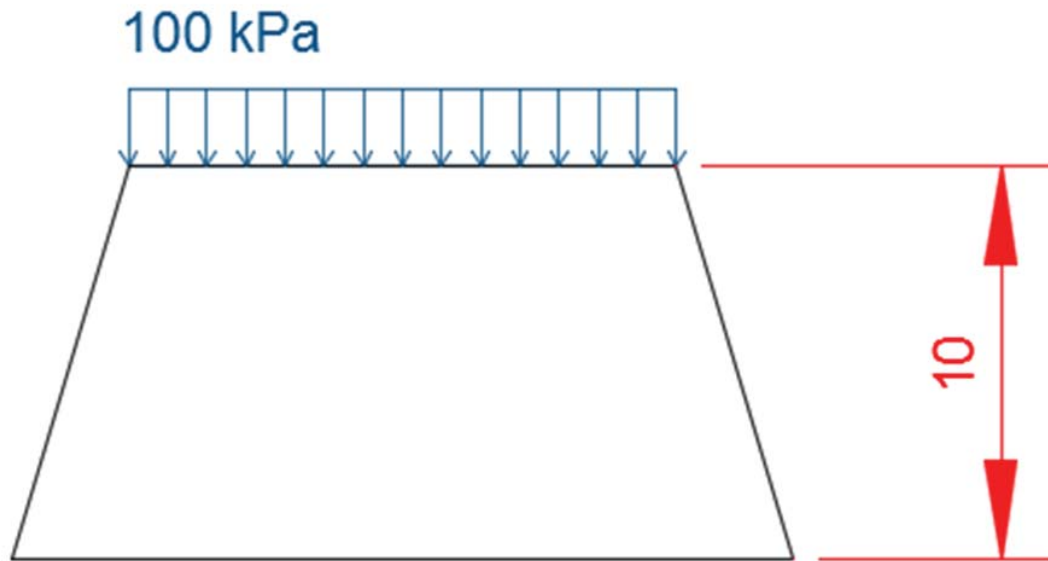
Tabela 4.3.1. Parâmetros obtidos dos Ensaio de adensamento de solo. (Fonte: do autor)

<i>Parâmetros</i>	<i>Solo sem adição de rejeitos</i>	<i>Solo com adição de rejeitos</i>
e ₀	0,870	1,090
w (%)	23,40	26,40
γ _d (KN/m ³)	14,52	12,99
γ _{nat} (KN/m ³)	17,916	16,417
C _c	0,0955	0,1627
a _v	0,0657	0,1090
GC (%)	95,0	94,8
So (%)	72,5	65,5
S _f (%)	96,8	96,4

Para melhorar a interpretação dos resultados apresentados na Tabela 4.3.1, utilizou-se os dados obtidos na situação prática hipotética a seguir.

Será construído um aterro de altura 10,0 m , com o material ensaiado. Este aterro sofrerá sobrecarga de 100 kPa, conforme apresentado na Figura 4.3.1. Para os cálculos, considerou-se que o aterro estará na condição normalmente adensada e que há dupla drenagem.

Figura 4.3.1. Aterro Hipotético, para o qual serão aplicados os resultados obtidos.



Fonte: do Autor

Considerando que o material do aterro será o solo sem adição de rejeitos, temos:

$$\sigma'_0 = \gamma_{solo} \times \frac{h}{2} = 17,916 \times \frac{10}{2} = 89,58 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_f = \sigma'_0 + \sigma = 89,58 + 100 = 189,58 \text{ kPa}$$

$$S = \frac{Cc \times H}{1 + e_0} \times \log\left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_0}\right) = \frac{0,0955 \times 10}{1 + 0,870} \times \log\left(\frac{189,58}{89,58}\right)$$

$$S = 0,1663 \text{ m} = 16,63 \text{ cm}$$

$$T = \frac{Cv \times t}{(Hd)^2} \rightarrow t = \frac{T \times (Hd)^2}{Cv}$$

$$t = \frac{0,848 \times (10/2)^2}{0,0657} = 322,67 \text{ dias}$$

Considerando que o material do aterro será o solo com adição de rejeitos, temos:

$$\sigma'_0 = \gamma_{solo} \times \frac{h}{2} = 16,417 \times \frac{10}{2} = 82,085 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_f = \sigma'_0 + \sigma = 82,085 + 100 = 182,085 \text{ kPa}$$

$$S = \frac{Cc \times H}{1 + e_0} \times \log\left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_0}\right) = \frac{0,1627 \times 10}{1 + 1,090} \times \log\left(\frac{182,085}{82,085}\right)$$

$$S = 0,2693 \text{ m} = 26,93 \text{ cm}$$

$$T = \frac{Cv \times t}{(Hd)^2} \rightarrow t = \frac{T \times (Hd)^2}{Cv}$$

$$t = \frac{0,848 \times (10/2)^2}{0,1090} = 194,49 \text{ dias}$$

Após a aplicação da situação hipotética da construção do aterro utilizando solo com e sem adição de rejeitos, pode-se perceber que para a situação em que o solo está acrescido dos rejeitos, o recalque sofrido é de maior magnitude e ocorrerá em menor tempo, quando comparado a um aterro nas mesmas condições de construção utilizando o solo sem a adição dos rejeitos. Portanto o solo com a adição de rejeitos é um material mais compressível do que o solo sem adição da vinhaça e das fibras.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

No capítulo a seguir serão apresentadas as conclusões obtidas com a realização do trabalho e as sugestões para futuras pesquisas.

5.1 CONCLUSÕES

Os parâmetros de adensamento do solo da região metropolitana de Goiânia foram obtidos com êxito, sendo possível assim prever o comportamento deste solo em termos de pressão e deformação. Assim como previsto, constatou-se que a adição de Vinhaça e Fibras influencia o comportamento do solo quanto ao adensamento.

Embora a influência da adição dos rejeitos no solo tenha sido confirmada, esta não ocorrerá de maneira benéfica, já que a adição da vinhaça e das fibras torna o solo mais compressível, aumentando a magnitude do recalque sofrido e diminuindo o tempo de ocorrência do recalque, e assim inviabilize a utilização destes compostos como reforço ao solo, como retardadores dos efeitos do recalque.

Devido a sequência de carga escolhida para a realização dos ensaios, não foi possível se cumprir um dos objetivos propostos. A pressão nominal de carregamento inicial de 0,5 kgf/cm², se mostrou uma carga maior do que a pressão de pré-adensamento, e por este motivo impossibilitou a obtenção das tensões de pré-adensamento do solo nas situações com e sem adição de rejeitos. Portanto não foi possível avaliar as possíveis alterações que a adição de vinhaça e fibras causa na condição pré-adensada e/ou normalmente adensada.

Devido ao fato de que os dois rejeitos (vinhaça e fibras) foram ensaiados apenas para a situação em que estes estavam juntos, não é possível identificar qual deles, a vinhaça ou as fibras, causou maior influência nos resultados obtidos. Sendo está uma oportunidade para desenvolvimento de pesquisas futuras.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Realização de ensaios de adensamento utilizando apenas o resíduo vinhaça.

Realização de ensaios de adensamento utilizando apenas o resíduo fibra.

Realização de ensaios de adensamento utilizando apenas o resíduo vinhaça e realização de ensaios de adensamento utilizando apenas o resíduo fibra.

Realização de ensaios de adensamento utilizando carregamentos menores que 50 kPa na perspectiva de determinar a pressão de pré-adensamento.

Realização de ensaios de adensamento utilizando os resíduos da usina de etanol em diferentes concentrações, das utilizadas neste trabalho.

Realização de outros ensaios utilizando resíduos oriundo de usina de etanol, tais como Cisalhamento direto e cisalhamento triaxial.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. A.. *INCORPORAÇÃO DE VINHAÇA AO SOLO: EFEITOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA DO MATERIAL OBTIDO*. 1992. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

ÁVILA, A. C. et al., 2017. *Estudo experimental do uso da vinhaça na estabilização e controle de processos erosivos*. p. 12.

BATISTA, C. S.; SANTOS, K.T. dos; SILVA, S. G. da. *Estudo sobre a influência da adição da vinhaça no comportamento do mini CBR de solos finos da região da Goiânia*. 2015. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Construção de Vias Terrestres, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Goiânia, Goiânia, 2015.

BIODIESELBR (Brasil). *PróAlcool - Programa Brasileiro de Alcool*. 2006. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol.htm>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, 02 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 08 jun. 2018.

CAPUTO, H. P., 1967. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC.

CARLOS, Mary Williany Alves dos Santos et al. *ANÁLISE DA ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO SEMIÁRIDO PARAIBANO*. Campo Grande: Realize, 2017.

DAS, B. M. *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. Tradução da 6a edição Norte-Americana – All Tasks,. São Paulo: Thomsom Learning, 2007. 561 p.

GERSCOVICH, Denise M. S.. *Recalques em Solos Argilosos*. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 173 p.

MARANGON, M.. *Capítulo 3 - COMPRESSIBILIDADE E ADENSAMENTO DOS SOLOS*. 2018. ed. Juiz de Fora: Faculdade Federal de Juiz de Fora - Faculdade de Engenharia - Nugeo, 2018.

PINTO, C.S. *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 216 p.

SILVA, Mellissa A. S. da; GRIEBELER, Nori P.; BORGES, Lino C.. *Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, n. 11, p.108-114, 2007.

SOUZA, M. A. I. de. *DETERMINAÇÃO E APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE UM SOLO ARGILOSO DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA A PARTIR DO ENSAIO TRIAXIAL*. 2018. 129 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Goiânia, Goiânia, 2018.

STANCATI, G.; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. *Ensaio de Laboratório em Mecânica dos Solos*. São Carlos: Universidade de São Paulo, 1981. 208 p.

APÊNDICE

Ensaio de Adensamento - Moldagem

1 DADOS DO ENSAIO

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo	Furo:	
		Profundidade:	

2 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Método de Moldagem:	Estática	GC (%):	95
Número de Camadas:	1	h – hot (%):	0,60

3 DADOS DO SOLO (LABORATÓRIO)

δ_s (g/cm ³):	2,767	Hot (%):	23,40	$Y_{smáx}$ (g/cm ³):	1,558
----------------------------------	-------	----------	-------	----------------------------------	-------

4 DADOS DO SOLO PARA MOLDAGEM

Hmold (%):	22,80	$Y_{smáx.mold}$ (g/cm ³):	1,480
------------	-------	---------------------------------------	-------

5 CONDIÇÕES DESEJADAS DO CORPO DE PROVA

Diâmetro	cm	10,2
Área	cm ²	81,71
Altura	cm	4
Volume	cm ³	326,85
Densidade Seca	g/cm ³	1,480
Umidade	%	22,80

6 UMIDADE HIGROSCÓPICA

Cápsula	n°	39	82	95
Massa da Cápsula	g	17,78	28,61	17,83
Cápsula + Solo + Água	g	43,71	59,73	38,39
Cápsula + Solo Seco	g	43,14	59,03	37,94
Massa da Água	g	0,57	0,7	0,45
Massa do Solo Seco	g	25,36	30,42	20,11

7 VALORES DE MOLDAGEM

Umidade Higroscópica	%	22,80	483,77
Massa de Solo Seco	g		
Massa de Solo Seco Adicional para umidade	g		150,00
Massa do Solo Seco Total	g		633,77
Massa do Solo com Umidade Higroscópica	g		648,11
Massa Total de Solo com Hot	g		778,27
Massa de Solo p/ confecção do Molde na Hot	g		594,07
Água a Acrescentar p/ chegar a Hot	g		130,16
Massa de Água Referente a Evaporação	g		0,50
Total de Água a Acrescentar	g		130,66
Massa do Solo na Hot por Camada	g		594,07

8 RESUMO -> VALORES P/ SEREM USADOS NA MOLDAGEM

Massa do Solo com Umidade Higroscópica	g	648,11
Total de Água a Acrescentar	g	130,66
Massa de Solo p/ confecção do Molde na Hot	g	594,07
Massa do Solo na Hot por Camada	g	594,07

9 DADOS DO ANEL

Massa do Anel	g	81,18
Altura	cm	2
Diâmetro	cm	8,712
Área	cm ²	59,61
Volume	cm ³	119,22

10 VALORES PARA CORPO DE PROVA NO ANEL

GC	%	95
$Y_{smáx}$ (Laboratório)	g	1,558
Y_s considerando o GC	g	1,480
Volume do Anel	cm ³	119,22
Massa de Solo Seco no Anel	g	176,46
Massa de Solo na Hot no Anel	g	216,69

ANOTAÇÕES

Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS DO ENSAIO

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo sem adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

2 CONDIÇÕES DO CORPO DE PROVA

Método de Moldagem:		GC (%):	95
Número de Camadas:	1	h – hot (%):	0,60

3 DADOS DO SOLO

δ_s (g/cm ³):	2,767	Hot (%):	23,40	$Y_{smáx}$ (g/cm ³):	1,558
----------------------------------	-------	----------	-------	----------------------------------	-------

4 DADOS DO ANEL

Altura	cm	2
Diâmetro	cm	8,712
Massa	g	81,18
Área	cm ²	59,61
Volume	cm ³	119,22

5 SATURAÇÃO

Inicial	%	72,53
Final	%	96,64

6 ALTURA DOS SÓLIDOS

10,70	mm
-------	----

7 PERMEABILIDADE NA TENSÃO DE:

Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =
Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =
Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =
Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =
Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =

8 UMIDADE INICIAL

Cápsula	n°	39	82	95
Massa da Cápsula	g	17,78	28,61	17,83
Cápsula + Solo + Água	g	50	65,12	55,04
Cápsula + Solo Seco	g	43,97	58,35	48,19
Massa da Água	g	6,03	6,77	6,85
Massa do Solo Seco	g	26,19	29,74	30,36
Teor de Umidade	%	23,02	22,76	22,56
Média	%	22,8		

9 UMIDADE FINAL

Cápsula	n°	61
Massa da Cápsula	g	57,66
Cápsula + Solo + Água	g	280,31
Cápsula + Solo Seco	g	234,83
Massa da Água	g	45,48
Massa do Solo Seco	g	177,17
Teor de Umidade	%	25,7

10 DADOS DO CORPO DE PROVA

		Inicial	
Anel	n°	1	
Massa do Anel	g	81,18	
CP Úmido + Anel	g	297,87	
Corpo de Prova Úmido	g	216,69	
Corpo de Prova Seco:	g	176,48	
Volume	cm ³	119,22	
Densidade Úmida	g/cm ³	1,818	
Densidade Seca	g/cm ³	1,480	
Índice de Vazios Inicial	e	0,869	
Grau de Saturação	%	72,5	
Desvio de Umidade	%	-0,6	
Altura Reduzida	mm	10,700	
Grau de Compactação	%	95,0	

10 RESULTADO DO ENSAIO

	Final
Altura Final do Carregamento	(mm) 18,503
Índice de Vazios Final do Carregamento	(e) 0,73
Variação do Índice de Vazios	(e) 0,139
Índice de Vazios Final do Descarregamento (e)	0,735
Grau de Saturação	96,6

Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo sem adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

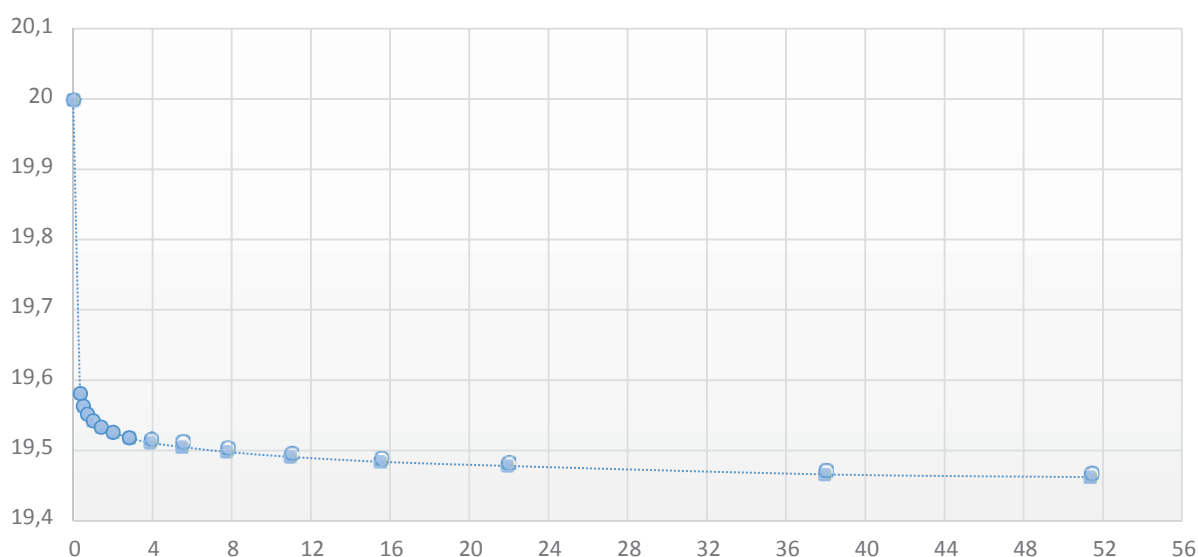
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Carregamento 01	Data do Ensaio:	04/06/2019
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	29,81
Pressão em Kpa	50	Carga do Braço (kgf):	2,981
Pressão em kgf/cm²:	0,5	Hr - Altura Reduzida (mm):	10,698
Área do Corpo de Prova (cm²)	59,61	H - Altura Final	19,462
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,819

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	0,001	19,999
0,125	8	0,4	0,419	19,581
0,25	15	0,5	0,437	19,563
0,5	30	0,7	0,448	19,552
1	60	1,0	0,458	19,542
2	120	1,4	0,467	19,533
4	240	2,0	0,474	19,526
8	480	2,8	0,482	19,518
15	900	3,9	0,489	19,511
30	1800	5,5	0,495	19,505
60	3600	7,7	0,502	19,498
120	7200	11,0	0,509	19,491
240	14400	15,5	0,516	19,484
480	28800	21,9	0,522	19,478
1440	86400	37,9	0,534	19,466
2638,100	158286	51,4	0,538	19,462

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo sem adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

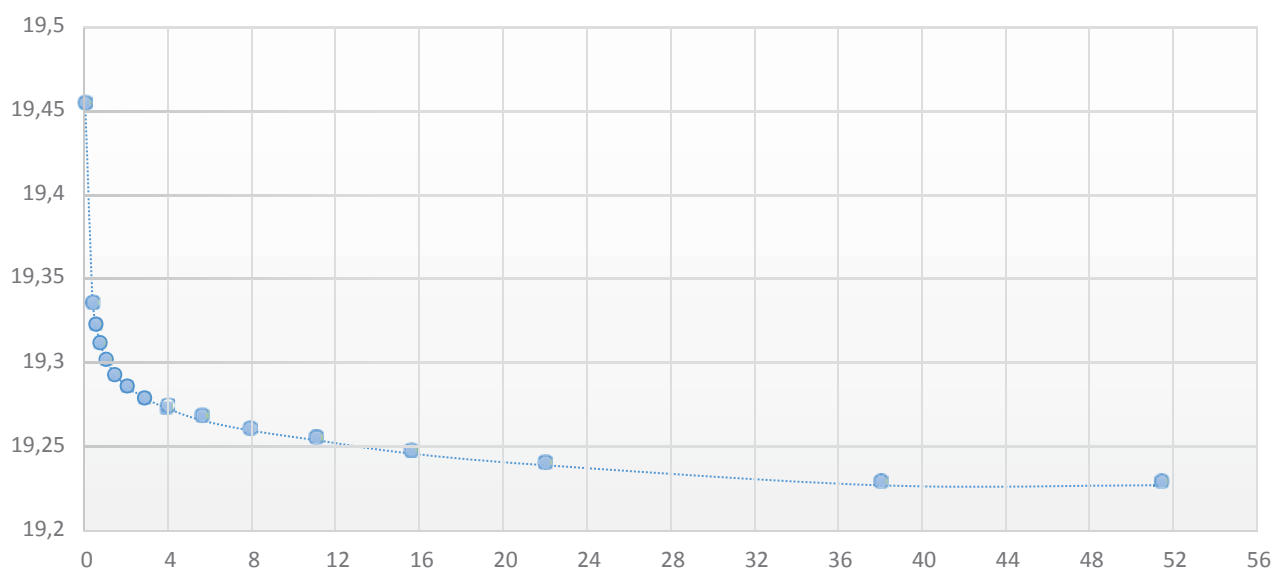
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Carregamento 02	Data do Ensaio:	04/06/2019
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	59,61
Pressão em Kpa	100	Carga do Braço (kgf):	5,961
Pressão em kgf/cm ² :	1,0	Hr - Altura Reduzida (mm):	10,698
Área do Corpo de Prova (cm ²)	59,61	H - Altura Final	19,227
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,797

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	0,545	19,455
0,125	8	0,4	0,664	19,336
0,25	15	0,5	0,677	19,323
0,5	30	0,7	0,688	19,312
1	60	1,0	0,698	19,302
2	120	1,4	0,707	19,293
4	240	2,0	0,714	19,286
8	480	2,8	0,721	19,279
15	900	3,9	0,727	19,273
30	1800	5,5	0,734	19,266
60	3600	7,7	0,740	19,26
120	7200	11,0	0,746	19,254
240	14400	15,5	0,754	19,246
480	28800	21,9	0,761	19,239
1440	86400	37,9	0,773	19,227
2638,100	158286	51,4	0,773	19,227

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo sem adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

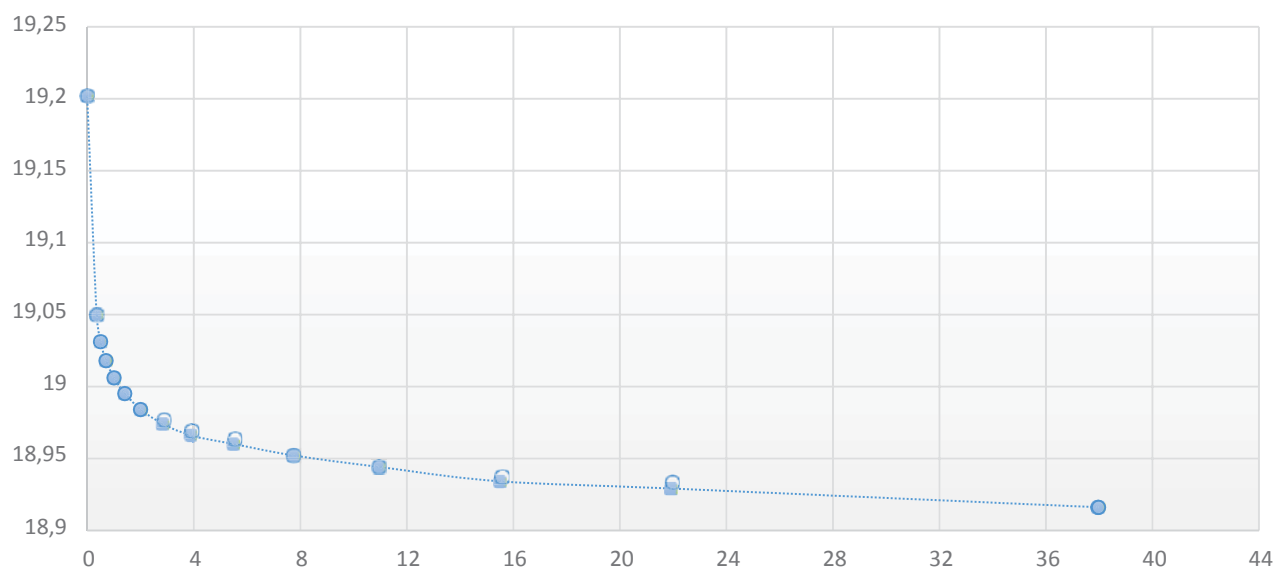
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Carregamento 03	Data do Ensaio:	27/06/2017
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	119,22
Pressão em Kpa	200	Carga do Braço (kgf):	11,922
Pressão em kgf/cm ² :	2,0	Hr - Altura Reduzida (mm):	10,698
Área do Corpo de Prova (cm ²)	59,61	H - Altura Final	18,916
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,768

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	0,798	19,202
0,125	8	0,4	0,950	19,05
0,25	15	0,5	0,969	19,031
0,5	30	0,7	0,982	19,018
1	60	1,0	0,994	19,006
2	120	1,4	1,005	18,995
4	240	2,0	1,016	18,984
8	480	2,8	1,026	18,974
15	900	3,9	1,034	18,966
30	1800	5,5	1,040	18,96
60	3600	7,7	1,048	18,952
120	7200	11,0	1,056	18,944
240	14400	15,5	1,066	18,934
480	28800	21,9	1,071	18,929
1440	86400	37,9	1,084	18,916
1441,800	86508	38,0	1,084	18,916

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo sem adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

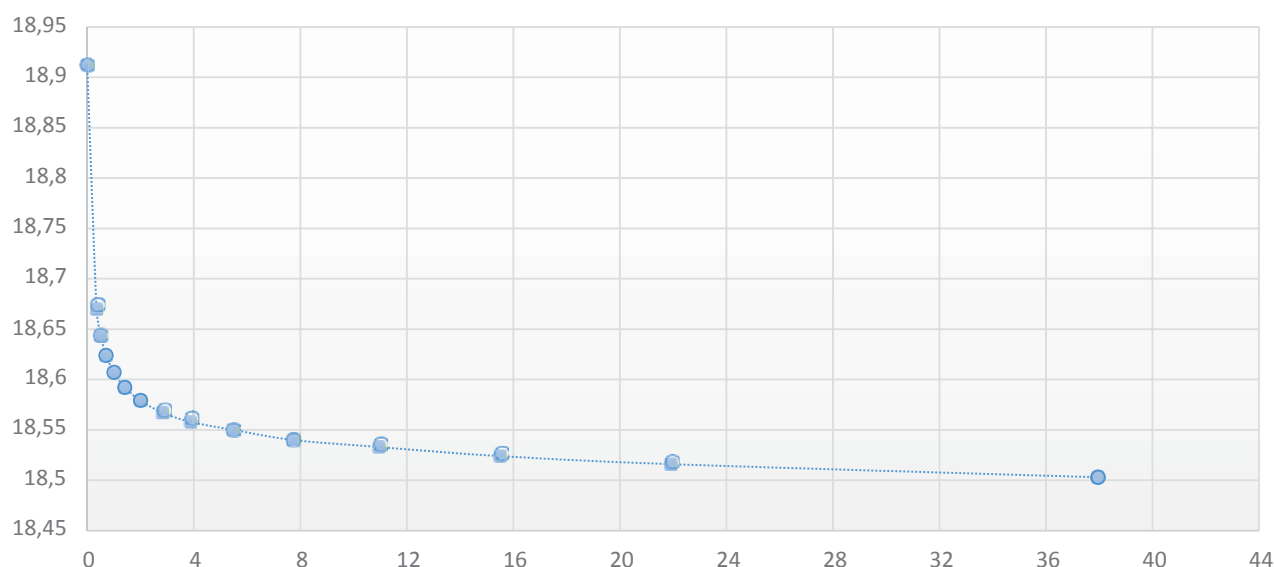
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Carregamento 04	Data do Ensaio:	28/06/2017
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	238,44
Pressão em Kpa	400	Carga do Braço (kgf):	23,844
Pressão em kgf/cm ² :	4,0	Hr - Altura Reduzida (mm):	10,698
Área do Corpo de Prova (cm ²)	59,61	H - Altura Final	18,503
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,730

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	1,088	18,912
0,125	8	0,4	1,330	18,67
0,25	15	0,5	1,356	18,644
0,5	30	0,7	1,376	18,624
1	60	1,0	1,393	18,607
2	120	1,4	1,408	18,592
4	240	2,0	1,421	18,579
8	480	2,8	1,433	18,567
15	900	3,9	1,442	18,558
30	1800	5,5	1,450	18,55
60	3600	7,7	1,460	18,54
120	7200	11,0	1,467	18,533
240	14400	15,5	1,476	18,524
480	28800	21,9	1,484	18,516
1440	86400	37,9	1,497	18,503
1440,400	86424	38,0	1,497	18,503

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo sem adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

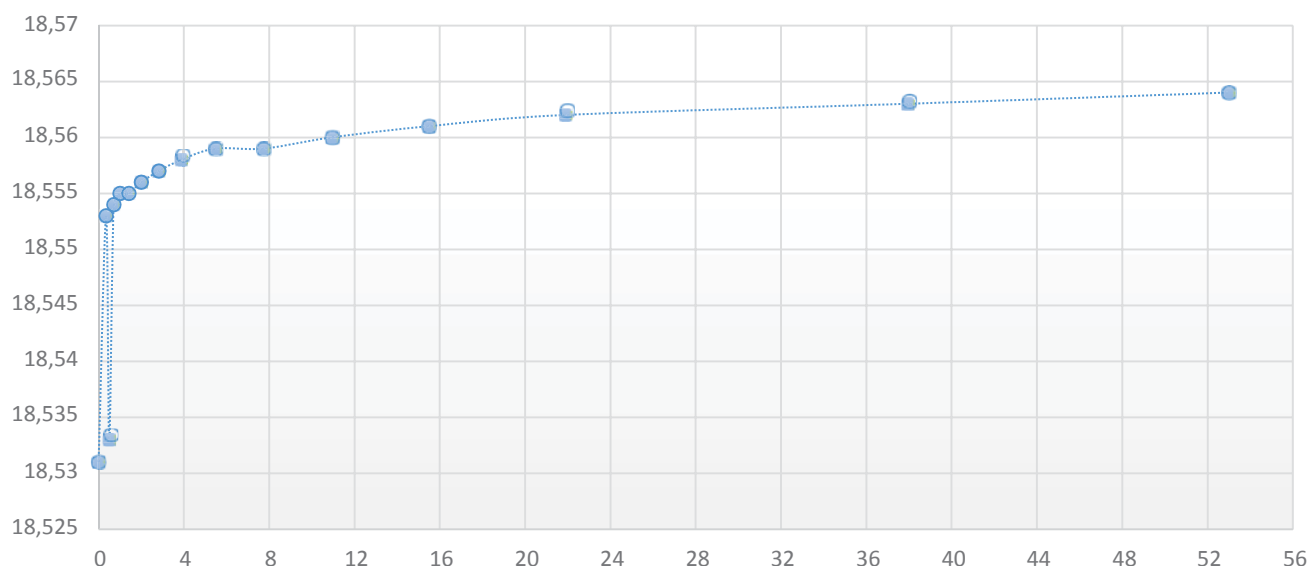
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Descarregamento 01	Data do Ensaio:	01/07/2017
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	119,22
Pressão em Kpa	200	Carga do Braço (kgf):	11,922
Pressão em kgf/cm ² :	2,0	Hr - Altura Reduzida (mm):	10,698
Área do Corpo de Prova (cm ²)	59,61	H - Altura Final	18,564
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,735

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	1,469	18,531
0,125	8	0,4	1,447	18,553
0,25	15	0,5	1,467	18,533
0,5	30	0,7	1,446	18,554
1	60	1,0	1,445	18,555
2	120	1,4	1,445	18,555
4	240	2,0	1,444	18,556
8	480	2,8	1,443	18,557
15	900	3,9	1,442	18,558
30	1800	5,5	1,441	18,559
60	3600	7,7	1,441	18,559
120	7200	11,0	1,440	18,56
240	14400	15,5	1,439	18,561
480	28800	21,9	1,438	18,562
1.440	86400	37,9	1,437	18,563
2.808,1	168486	53,0	1,436	18,564

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



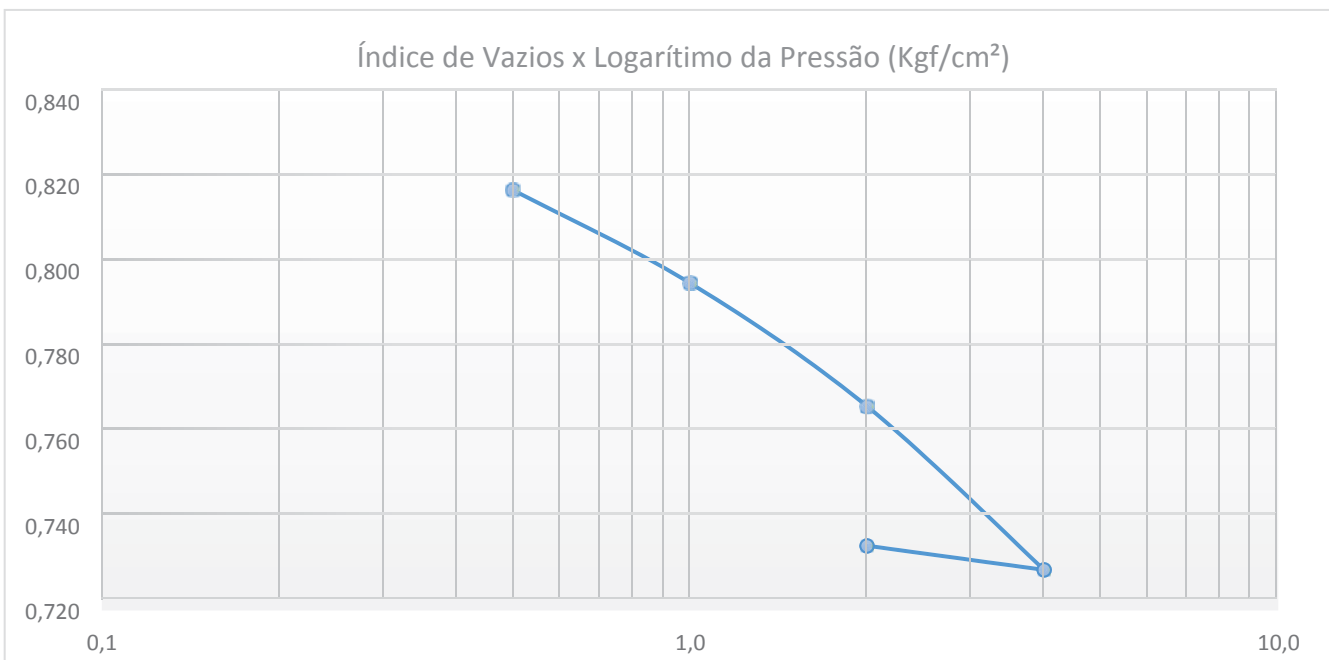
Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo sem adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

1 ÍNDICE DE VAZIOS X PRESSÃO (Kgf/cm²)

Etapa do Ensaio	Pressão (kgf/cm ²)	Índice de Vazios (e)
Carregamento 01	0,5	0,819
Carregamento 02	1,0	0,797
Carregamento 03	2,0	0,768
Carregamento 04	4,0	0,730
Descarregamento 01	2,0	0,735



Ensaio de Adensamento - Moldagem

1 DADOS DO ENSAIO

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo com adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

2 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Método de Moldagem:	Estática	GC (%):	95
Número de Camadas:	1	h – hot (%):	0,60

3 DADOS DO SOLO (LABORATÓRIO)

δ_s (g/cm ³):	2,767	Hot (%):	26,38	$Y_{smáx}$ (g/cm ³):	1,396
----------------------------------	-------	----------	-------	----------------------------------	-------

4 DADOS DO SOLO PARA MOLDAGEM

Hmold (%):	25,78	$Y_{smáx.mold}$ (g/cm ³):	1,326
------------	-------	---------------------------------------	-------

5 CONDIÇÕES DESEJADAS DO CORPO DE PROVA

Diâmetro	cm	10,2
Área	cm ²	81,71
Altura	cm	4
Volume	cm ³	326,85
Densidade Seca	g/cm ³	1,326
Umidade	%	25,78

9 DADOS DO ANEL

Massa do Anel	d	81,18
Altura	cm	2
Diâmetro	cm	8,712
Área	cm ²	59,61
Volume	cm ³	119,22

6 UMIDADE HIGROSCÓPICA

Cápsula	n°	39	82	95
Massa da Cápsula	g	17,78	28,61	17,83
Cápsula + Solo + Água	g	43,71	59,73	38,39
Cápsula + Solo Seco	g	43,14	59,03	37,94
Massa da Água	g	0,57	0,7	0,45
Massa do Solo Seco	g	25,36	30,42	20,11
Teor de Umidade	%	2,25	2,30	2,24

7 VALORES DE MOLDAGEM

Massa do Solo Seco	g	433,47
Massa de Solo Seco Adicional para umidade	g	150,00
Massa do Solo Seco Total	g	583,47
Massa do Solo com Umidade Higroscópica	g	596,67
Massa Total de Solo com Hot	g	733,89
Massa de Solo p/ confecção do Molde na Hot	g	545,22
Água a Acrescentar p/ chegar a Hot	g	137,22
Massa de Vinhaça Referente a Evaporação	g	1
Total de Vinhaça a Acrescentar	g	138,22
Massa do Solo na Hot por Camada	g	545,22

8 RESUMO -> VALORES P/ SEREM USADOS NA MOLDAGEM

Massa do Solo com Umidade Higroscópica	g	596,67
Total de Vinhaça a Acrescentar	g	138,22
Massa de Solo p/ confecção do Molde na Hot	g	545,22
Massa do Solo na Hot por Camada	g	545,22

10 VALORES PARA CORPO DE PROVA NO ANEL

GC	%	95
$Y_{smáx}$ (Laboratório)	g	1,396
Y_s considerando o GC	g	1,326
Volume do Anel	cm ³	119,22
Massa de Solo Seco no Anel	g	158,11
Massa de Solo na Hot no Anel	g	198,87
Massa de Solo na Hot + Massa do Anel	g	280,05

ANOTAÇÕES

Para a moldagem, os valores de massa de solo encontrados serão substituídos por fibras na proporção de 1,00%.

Massa total para moldagem = 596,67 g

Massa de solo = 590,70g (99,00%)

Massa de fibras = 5,97g (1,00%)

Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS DO ENSAIO

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo com adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

2 CONDIÇÕES DO CORPO DE PROVA

Método de Moldagem:	Estática	GC (%):	95
Número de Camadas:	1	h – hot (%):	0,60

3 DADOS DO SOLO

δ_s (g/cm ³):	2,767	Hot (%):	26,38	$Y_{smáx}$ (g/cm ³):	1,396
----------------------------------	-------	----------	-------	----------------------------------	-------

4 DADOS DO ANEL

Altura	cm	2
Diâmetro	cm	8,712
Massa	g	81,45
Área	cm ²	59,61
Volume	cm ³	119,22

5 SATURAÇÃO

Inicial	%	66,11
Final	%	146,46

6 ALTURA DOS SÓLIDOS

9,54	mm
------	----

7 PERMEABILIDADE NA TENSÃO DE:

Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =	
Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =	
Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =	
Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =	
Kgf/cm ² =		Kgf/cm ² =	

8 UMIDADE INICIAL

Cápsula	n°	95	16	84
Massa da Cápsula	g	17,83	26,85	26,9
Cápsula + Solo + Água	g	41,6	44,48	47,13
Cápsula + Solo Seco	g	36,82	43,04	40,9
Massa da Água	g	4,78	1,44	6,23
Massa do Solo Seco	g	18,99	16,19	14
Teor de Umidade	%	25,17	8,89	44,50
Média	%	26,2		

9 UMIDADE FINAL

Cápsula	n°	61
Massa da Cápsula	g	57,67
Cápsula + Solo + Água	g	264,64
Cápsula + Solo Seco	g	215,96
Massa da Água	g	48,68
Massa do Solo Seco	g	158,29
Teor de Umidade	%	30,8

10 DADOS DO CORPO DE PROVA

		Inicial
Anel	n°	1
Massa do Anel	g	81,45
CP Úmido + Anel	g	280,05
Corpo de Prova Úmido	g	198,60
Corpo de Prova Seco:	g	157,38
Volume	cm ³	119,22
Densidade Úmida	g/cm ³	1,666
Densidade Seca	g/cm ³	1,320
Índice de Vazios Inicial	e	1,096
Grau de Saturação	%	66,1
Desvio de Umidade	%	-0,2
Altura Reduzida	mm	9,542
Grau de Compactação	%	94,6

10 RESULTADO DO ENSAIO

	Final
Altura Final do Carregamento (mm)	18,091
Índice de Vazios Final do Carregamento (e)	0,569
Variação do Índice de Vazios (e)	0,527
Índice de Vazios Final do Descarregamento (e)	0,581
Grau de Saturação	146,5

Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo com adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

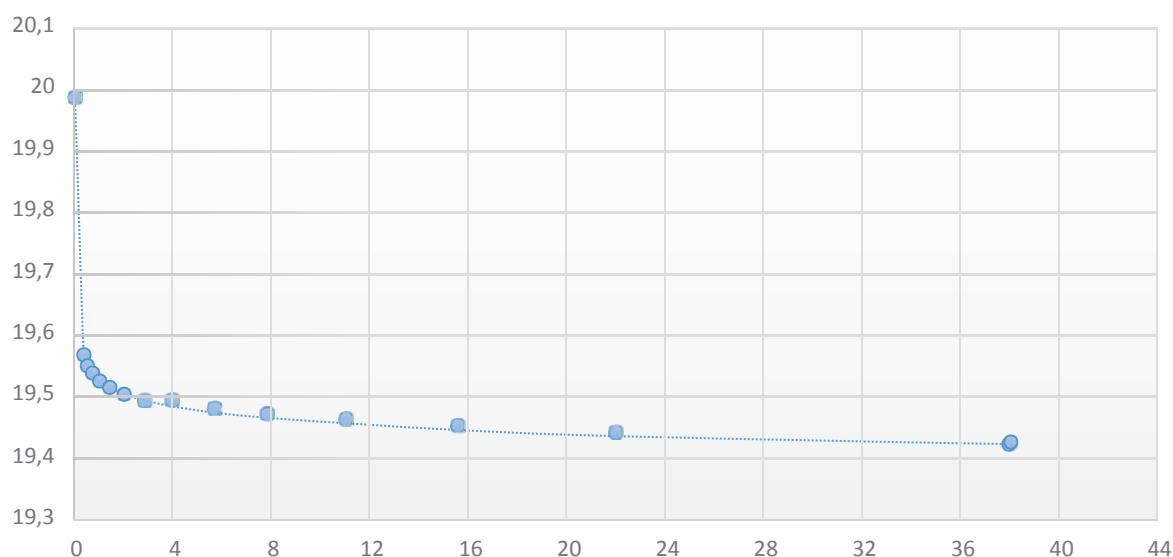
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Inundação	Data do Ensaio:	11/06/2019
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	30,28
Pressão em Kpa	50	Carga do Braço (kgf):	3,028
Pressão em kgf/cm ² :	0,5	Hr - Altura Reduzida (mm):	9,571
Área do Corpo de Prova (cm ²)	60,55	H - Altura Final	19,427
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	1,030

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	0,012	19,988
0,125	8	0,4	0,431	19,569
0,25	15	0,5	0,449	19,551
0,5	30	0,7	0,461	19,539
1	60	1,0	0,474	19,526
2	120	1,4	0,484	19,516
4	240	2,0	0,495	19,505
8	480	2,8	0,505	19,495
15	900	3,9	0,514	19,486
30	1800	5,5	0,524	19,476
60	3600	7,7	0,533	19,467
120	7200	11,0	0,542	19,458
240	14400	15,5	0,553	19,447
480	28800	21,9	0,563	19,437
1.440,0	86400	37,9	0,576	19,424
1.445,4	86724	38,0	0,573	19,427

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo com adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

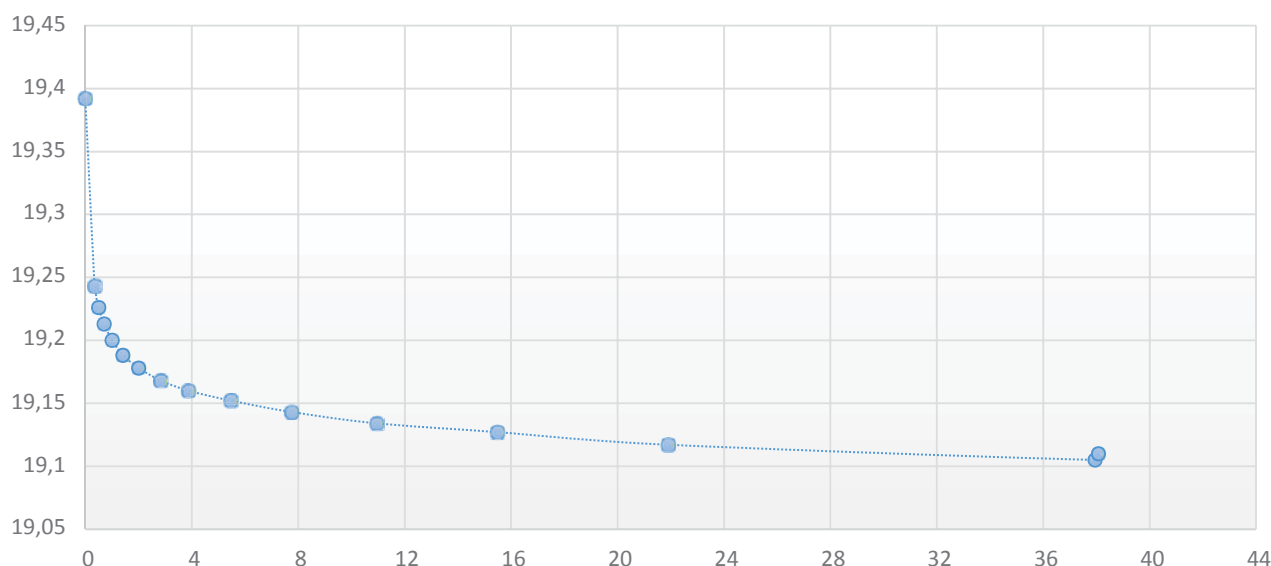
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Carregamento 02	Data do Ensaio:	11/06/2019
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	60,55
Pressão em Kpa	100	Carga do Braço (kgf):	6,055
Pressão em kgf/cm²:	1,0	Hr - Altura Reduzida (mm):	9,571
Área do Corpo de Prova (cm²)	60,55	H - Altura Final	19,11
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,997

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)	
0	0	0,0	0,608	19,392	##
0,125	8	0,4	0,757	19,243	##
0,25	15	0,5	0,774	19,226	##
0,5	30	0,7	0,787	19,213	##
1	60	1,0	0,800	19,2	##
2	120	1,4	0,812	19,188	##
4	240	2,0	0,822	19,178	##
8	480	2,8	0,832	19,168	##
15	900	3,9	0,840	19,16	##
30	1800	5,5	0,848	19,152	##
60	3600	7,7	0,857	19,143	##
120	7200	11,0	0,866	19,134	##
240	14400	15,5	0,873	19,127	##
480	28800	21,9	0,883	19,117	##
1.440,0	86400	37,9	0,895	19,105	##
1.449,9	86994	38,1	0,890	19,11	##

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo com adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

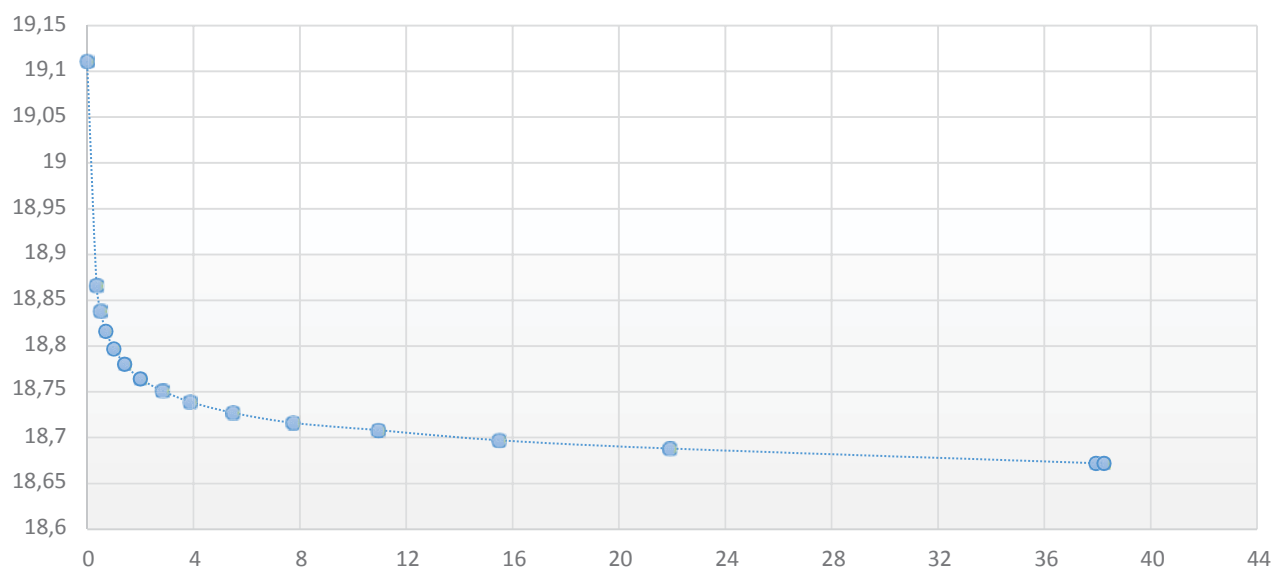
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Carregamento 03	Data do Ensaio:	11/06/2019
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	121,10
Pressão em Kpa	200	Carga do Braço (kgf):	12,110
Pressão em kgf/cm ² :	2,0	Hr - Altura Reduzida (mm):	9,571
Área do Corpo de Prova (cm ²)	60,55	H - Altura Final	18,672
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,951

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	0,889	19,111
0,125	8	0,4	1,134	18,866
0,25	15	0,5	1,162	18,838
0,5	30	0,7	1,184	18,816
1	60	1,0	1,203	18,797
2	120	1,4	1,220	18,78
4	240	2,0	1,236	18,764
8	480	2,8	1,249	18,751
15	900	3,9	1,261	18,739
30	1800	5,5	1,273	18,727
60	3600	7,7	1,284	18,716
120	7200	11,0	1,292	18,708
240	14400	15,5	1,303	18,697
480	28800	21,9	1,312	18,688
1.440,0	86400	37,9	1,328	18,672
1.462,7	87762	38,2	1,328	18,672

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo com adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

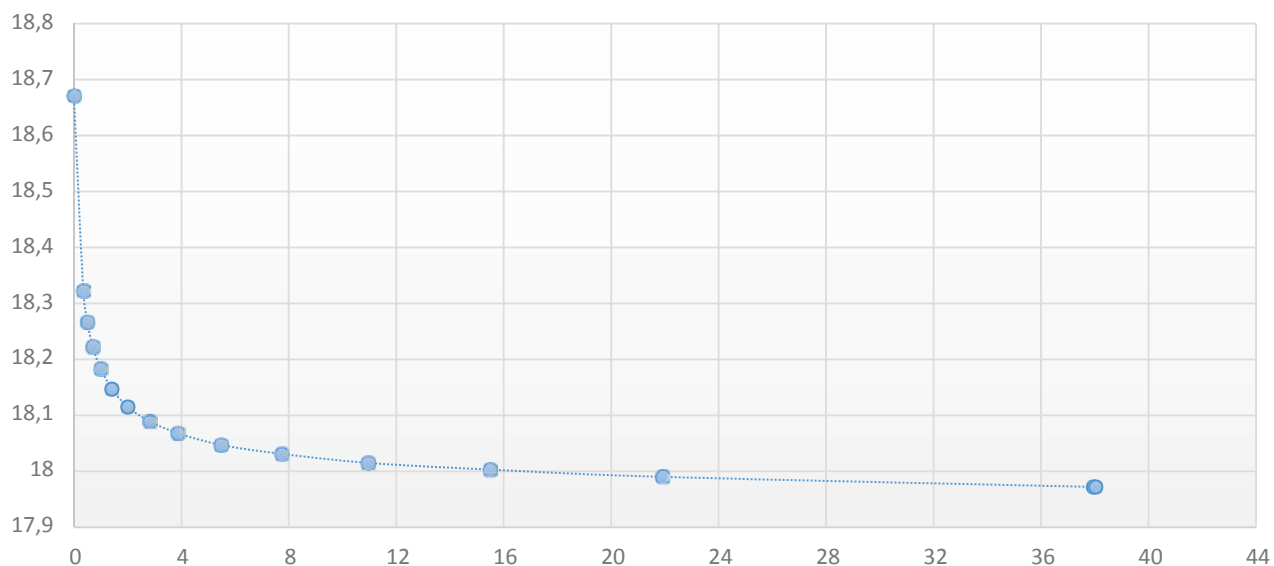
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Carregamento 04	Data do Ensaio:	11/06/2019
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	242,20
Pressão em Kpa	400	Carga do Braço (kgf):	24,220
Pressão em kgf/cm ² :	4,0	Hr - Altura Reduzida (mm):	9,571
Área do Corpo de Prova (cm ²)	60,55	H - Altura Final	17,972
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,878

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	1,329	18,671
0,125	8	0,4	1,678	18,322
0,25	15	0,5	1,734	18,266
0,5	30	0,7	1,778	18,222
1	60	1,0	1,817	18,183
2	120	1,4	1,853	18,147
4	240	2,0	1,885	18,115
8	480	2,8	1,911	18,089
15	900	3,9	1,932	18,068
30	1800	5,5	1,953	18,047
60	3600	7,7	1,969	18,031
120	7200	11,0	1,985	18,015
240	14400	15,5	1,997	18,003
480	28800	21,9	2,010	17,99
1.440,0	86400	37,9	2,028	17,972
1.446,8	86808	38,0	2,028	17,972

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo com adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

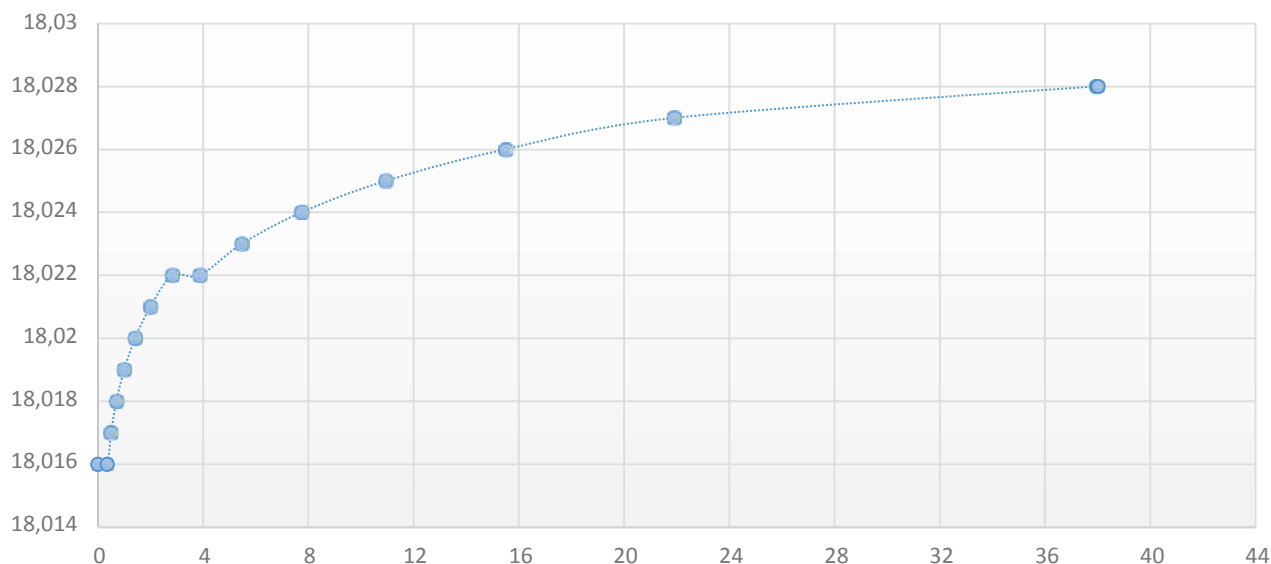
1 DADOS DO ENSAIO

Etapa do Ensaio:	Descarregamento 01	Data do Ensaio:	11/06/2019
Altura Inicial (mm):	20,00	Força Aplicada (Kgf):	242,20
Pressão em Kpa	400	Carga do Braço (kgf):	24,220
Pressão em kgf/cm²:	4,0	Hr - Altura Reduzida (mm):	9,571
Área do Corpo de Prova (cm²)	60,55	H - Altura Final	18,028
Condição de Moldagem:	Compactação Estática	E=(H/Hr)-1:	0,884

1 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Tempo (min)	Tempo (s)	Raiz do tempo (min)	LVDT (mm)	Altura (mm)
0	0	0,0	1,984	18,016
0,125	8	0,4	1,984	18,016
0,25	15	0,5	1,983	18,017
0,5	30	0,7	1,982	18,018
1	60	1,0	1,981	18,019
2	120	1,4	1,980	18,02
4	240	2,0	1,979	18,021
8	480	2,8	1,978	18,022
15	900	3,9	1,978	18,022
30	1800	5,5	1,977	18,023
60	3600	7,7	1,976	18,024
120	7200	11,0	1,975	18,025
240	14400	15,5	1,974	18,026
480	28800	21,9	1,973	18,027
1.440,0	86400	37,9	1,972	18,028
1.445,4	86724	38,0	1,972	18,028

Altura do Corpo de Prova (mm) x Raiz Quadrada do Tempo (min)



Ensaio de Adensamento – Resumo



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIÁS

Ensaio de Adensamento - Resumo

1 DADOS CADASTRAIS

Aluno:	Amanda Arciprett Oliveira	Professor:	Giovane Batalione
Curso:	Engenharia Civil	Período:	
Projeto:	TCC	Local:	
Amostra:	Solo com adição de rejeitos	Furo:	
		Profundidade:	

1 ÍNDICE DE VAZIOS X PRESSÃO (Kgf/cm²)

Etapa do Ensaio -----	Pressão (kgf/cm ²)	Índice de Vazios (e)
Carregamento 01	0,5	1,030
Carregamento 02	1,0	0,997
Carregamento 03	2,0	0,951
Carregamento 04	4,0	0,878
Descarregamento 01	2,0	0,884

