

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

TAYNARA VITORIA DE SOUSA SANTOS

**ANÁLISE GEOTÉCNICA DO SOLO PARA O EMPREGO EM SUBLASTRO  
FERROVIÁRIO: ESTUDO DE CASO EM SUBTRECHO DA FERROVIA NOVA  
TRANSNORDESTINA**

Cajazeiras-PB  
2023

TAYNARA VITORIA DE SOUSA SANTOS

**ANÁLISE GEOTÉCNICA DO SOLO PARA O EMPREGO EM SUBLASTRO  
FERROVIÁRIO: ESTUDO DE CASO EM SUBTRECHO DA FERROVIA NOVA  
TRANSNORDESTINA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Fernando Chagas de Figueiredo Sousa.

Cajazeiras-PB  
2023

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S237a Santos, Taynara Vitoria De Sousa.  
Análise geotécnica do solo para o emprego em sublastro ferroviário : estudo de caso em subtrecho da ferrovia nova transnordestina / Taynara Vitoria De Sousa Santos. – 2023.  
50f. : il.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.  
Orientador(a): Prof. Me. Fernando Chagas de Figueiredo Sousa.  
1. Engenharia ferroviária. 2. Ferrovia - Construção. 3. Estudo geotécnico. 4. Lastro ferroviário. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 625.141

TAYNARA VITORIA DE SOUSA SANTOS

**ANÁLISE GEOTÉCNICA DO SOLO PARA O EMPREGO EM SUBLASTRO  
FERROVIÁRIO: ESTUDO DE CASO EM SUBTRECHO DA FERROVIA NOVA  
TRANSNORDESTINA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
*Campus* Cajazeiras, como parte dos  
requisitos para a obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 10 de fevereiro de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Fernando Chagas de Figueiredo Sousa  
Fernando Chagas de Figueiredo Sousa – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador

Amanda Jéssica Rodrigues da Silva

Amanda Jessica Rodrigues da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1

Andrêza Leite de Araujo  
Andrêza Leite de Araujo – Engenheira Civil  
Mestranda em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – (PROFÁGUA)  
Examinador 2

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, Patricia Maria e Jose Roberto, e a minha irmã, Tifany Roberta, esse é o primeiro passo para realização dos nossos sonhos.

Aos meus avós maternos, Raimundira e Francisco de Sousa (*In memoriam*), e paternos, Maria Lustosa e José Raimundo por me ensinarem o valor de amar.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado força e bom animo para chegar até aqui. Em todos os momentos que pensei em desistir Ele me guiou mostrando-me caminhos seguros. Que toda honra e glória seja dada a Ele.

Aos meus pais, José Roberto e Patricia Maria, que sempre se esforçaram para me dar o melhor, espero retribuí-los da melhor forma e demonstrar toda minha gratidão lhes dando orgulho. A minha irmã Tiffany Roberta, pelo apoio e paciência, sempre me esforcei para ser um espelho para você. A vocês, gratidão e todo meu amor.

Aos meus avós, que sempre foram meu maior sinônimo de amor e família, pelo zelo e orações, vocês são meus escudos de fé.

A todos os meus tios e tias, e meus padrinhos, que sempre foram solícitos e nunca mediram esforços para me ajudar, sou grata por ter uma família que sempre acreditou em mim e me motivou a lutar pelos meus sonhos.

Aos meus amigos, em especial, Nataliel Sousa e Taynara Rodrigues, por serem meu ponto de equilíbrio, calma e conforto em dias difíceis. A Fabricia Duarte e Moises Alves, por toda motivação e companheirismo, vocês fazem meus dias ficarem mais leves. A Michele Landim e Gabriele Avlis por todo afeto e acolhimento que me trazem, e a Luan Sousa por toda fidelidade e racionalidade. A vocês toda minha gratidão por terem ficado ao meu lado durante esse desafio, vocês são minha segunda família.

Aos meus amigos e companheiros de formação, Francisco Célio, Hechiley Camila, Ivina Thayanny e João Vitor, pelos momentos compartilhados, apoio, compreensão e toda ajuda que me deram. Em especial a Lidia Rebeka, minha companheira de apartamento e agora irmã da vida, por toda fidelidade e amor. A vocês toda minha gratidão.

A Fabrynne Mendes, que não mediu esforços para me ajudar na realização desse trabalho, e mesmo longe sempre esteve presente.

A toda equipe da empresa atuante na obra da ferrovia, em especial a Thiago Pinheiro Gomes e Albuquerque, que é meu espelho profissional.

Ao Instituto Federal da Paraíba – *Campus* Cajazeiras, pela qualidade e excelência.

Por fim, mas não menos importante, a todos que de alguma forma estiveram próximos a mim, que direta ou ineditamente contribuíram para minha formação.

## RESUMO

Os modais de transporte são importantes por diversos fatores, dentre eles o crescimento e desenvolvimento para uma região, diante disso, a ferrovia Nova Transnordestina com 1753 km de extensão, está sendo implantada com origem em Eliseu Martins (PI) e segue em direção aos portos do Suape (PE) e Pecém (CE). As ferrovias são compostas pelo pavimento ferroviário constituído por camadas de subleito, sublastro e lastro, que em obras de infraestrutura é necessário que sejam realizados estudos geotécnicos nas camadas de sua composição visando a eficiência de seus materiais constituintes. O sublastro possui características que podem aumentar a capacidade de suporte da estrutura, além de distribuir os esforços dentre as camadas, devendo assim, ser constituído por materiais de qualidade que atendam as normas do projeto geotécnico. Nesse contexto, esse trabalho apresenta um estudo de caso no subtrecho do MVP-03 da ferrovia Nova Transnordestina entre os km 126+940 e 127+420 trazendo a análise geotécnica dos materiais coletados através das fichas de ensaios disponibilizados pela construtora. Por meio de revisão bibliográfica foi possível classificar os solos presentes no local de estudo e analisá-los através dos resultados dos ensaios previstos para os projetos geotécnicos de vias ferroviárias. Os resultados constata grande quantidade de finos na amostra e índices insuficientes de compactação e expansão do material, concluindo que o solo analisado não se enquadra nos parâmetros normatizados, devendo assim ser substituído.

**Palavras-Chave:** ferrovias; geotecnia; pavimento; solo; sublastro.

## ABSTRACT

Transport modes are important for promoting growth and development for a region, in view of this, the Nova Transnordestina railroad with 1753 km in length, is being implemented from Eliseu Martins (PI) and goes towards the ports of Suape (PE ) and Pecem (CE). The railways are composed of the railway pavement consisting of layers of subgrade, subballast and ballast, which in infrastructure works requires geotechnical studies to be carried out in the layers of its composition, aiming at the efficiency of its constituent materials. The subballast has characteristics that can increase the support capacity of the structure, in addition to distributing the efforts among the layers, and therefore, it must be made of quality materials that meet the standards of the geotechnical project. In this context, this work presents a case study in the MVP-03 subsection of the Nova Transnordestina railway between km 126+940 and 127+420, bringing the geotechnical analysis of the materials collected through the test sheets made available by the construction company. Through a bibliographic review, it was possible to classify the soils present in the study site and analyze them through the results of the tests foreseen for the geotechnical projects of railways. The results obtained through the analysis of the test sheets show a large amount of fines in the sample and insufficient rates of compaction and expansion of the material, concluding that the analyzed soil does not fit the standardized parameters and should therefore be replaced.

**Keywords:** railways; geotechnics; soil; subballast.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1	O SUBLASTRO FERROVIÁRIO .....	11
2.2	CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA PARA SUBLASTRO FERROVIÁRIO.....	12
2.3	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS .....	13
2.3.1	Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) .....	13
2.3.2	SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO HIGHWAY RESEARCH BOARD (HRB) .....	16
<b>3</b>	<b>MÉTODO DA PESQUISA .....</b>	<b>18</b>
3.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL.....	18
3.2	DESCRIÇÃO DO TRABALHO .....	18
<b>4</b>	<b>RESULTADOS DA PESQUISA.....</b>	<b>21</b>
4.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO .....	21
4.2	LIMITES DE ATTERBERG.....	23
4.3	ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO.....	24
4.3.1	Compactação Proctor Intermediário .....	24
4.3.2	Índice de Suporte California (ISC) .....	26
4.4	ÍNDICE DE GRUPO (IG) .....	27
4.5	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO .....	27
4.5.1	Sistema Unificado De Classificação Dos Solos (SUCS).....	27
4.5.2	Sistema De Classificação Highway Research Board (HRB).....	28
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>
	<b>ANEXO I – FICHAS DE LABORATÓRIO.....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os modais de transporte são importantes para o crescimento de uma cidade ou região, onde estes podem impactar diretamente na economia ou no bem estar social atendendo a demanda de uma população. Nos últimos anos o modal ferroviário vem tendo novos investimentos para sua aplicação no transporte comercial, Russo (2012) destaca que as ferrovias de uso exclusivo para o transporte de carga apresentam características para a definição do traçado e de seus componentes muito mais restritivas que as ferroviárias de transporte de passageiros. Logo, é essencial conhecer as propriedades do local em que malha ferroviária será instaurada.

Dentre os investimentos atuais, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) é responsável pelo projeto da Nova Transnordestina, ou Transnordestina Logística S.A. (TLSA), que busca promover a integração nacional, incentivar a produção local e promover novos negócios. Conforme a CSN (2021), essa é a maior obra linear em execução no Brasil, com 1.753 km de extensão abrangendo um total de 81 municípios, partindo da Cidade de Eliseu Martins no Estado do Piauí em direção ao Porto do Pecém, no Ceará, e Porto do Suape, no Pernambuco.

O pavimento ferroviário é composto pelas camadas de subleito, sublastro e lastro. Nabais (2014) classifica o sublastro como uma camada de características essenciais para a superestrutura, podendo essa aumentar a capacidade da plataforma, e que deve conter a espessura necessária para distribuir as pressões recebidas. Cada camada tem papel fundamental para o desempenho e funcionamento da via, Medina e Motta (2005) reforçam que estas camadas estão sujeitas diretamente a intemperes devendo ser permeáveis e resistentes. Logo, é necessário que os critérios para a seleção do solo utilizado para a execução desses serviços sejam de qualidade devendo atender todos os parâmetros necessários.

A análise geotécnica do solo é de grande importância no campo da construção civil, pois atrelada a outras investigações geotécnicas e aos demais estudos geológicos e mecânicos dos solos devem andar alinhados para se construir uma análise efetiva sobre a interação e eficiência dos materiais empregados para cada camada do pavimento ferroviário. Assim, a investigação do material aplicado para a camada de sublastro deve garantir o desempenho e a qualidade para as vias ferroviárias.

No Brasil, os critérios para seleção de materiais para os sistemas rodoviário e ferroviário, seguem normativas técnicas do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) que consideram as classificações de materiais baseadas nos parâmetros dos

ensaios laboratoriais de Análise Granulométrica, Limites de Consistência (LC), Compactação Proctor e Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR), sendo seus principais métodos para a classificação de solos o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), e o Highway Research Board (HRB) normalizado pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Nesse contexto, o objetivo desse estudo é analisar as características geotécnicas no subtrecho de um serviço de infraestrutura ferroviária. O estudo será realizado através da análise das fichas de ensaio de laboratório cedidas pela empresa contratada para a execução da obra Nova Transnordestina entre os quilômetros 126+940 e 127+420 no subtrecho entre Missão Velha ao Porto do Pecém (MVP-03). Desse modo, será analisada a viabilidade do uso do solo através da interpretação de ensaios realizados e a classificação dos tipos de solo de cada amostra estudada, onde a classificação permite estruturar o estudo dos solos nas obras ferroviárias, possibilitando diferenciar cada tipo em diversos parâmetros, além de estimar o comportamento e a capacidade do solo. A presente pesquisa apresenta-se em forma de estudo de caso e revisão bibliográfica, dos quais os resultados da análise do solo conclui que este deve ser substituído pois não atende todas as especificações.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

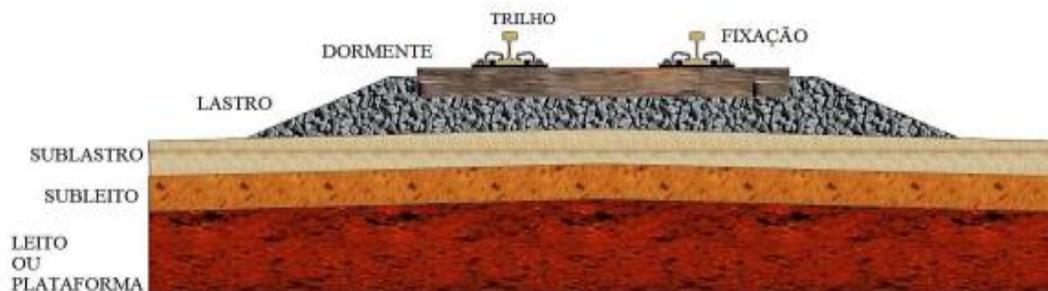
As obras ferroviárias possuem elevada extensão e atravessam formações geológicas diversas com um traçado geométrico exigente, conforme Oliveira (2017), esse tipo de obra contém curvas de grandes raios e rampas com inclinação mínima. O autor incrementa que as variações geológicas e topográficas constituem aspectos importantes, pela necessidade de ajustar o projeto às variações locais de relevo e das características geológicas e geotécnicas.

### 2.1 O SUBLASTRO FERROVIÁRIO

Conforme Cavalcante *et al.* (2016) o sublastro é uma camada do pavimento ferroviário composta por materiais pré-selecionados, pois, tal camada deve possibilitar o incremento da capacidade de suporte da plataforma, evitar ascensão de finos e proporcionar uma certa elasticidade ao sistema como um todo. O autor acrescenta que, geralmente este é constituído por solos locais, que implica em um esforço da engenharia no sentido de viabilizar este aproveitamento de forma que minimize os custos.

A Figura 1 apresenta a seção transversal de um pavimento ferroviário, mostrando sua estrutura de camadas.

**Figura 1** - Seção transversal do pavimento ferroviário



Fonte: Oliveira, 2017.

Selig e Waters (1995) descrevem que o sublastro tem a função de reduzir as tensões exigidas pelo tráfego, separar o lastro e o subleito, impedindo que materiais adentrem nessas camadas, impedir que materiais finos vindos do subleito migrem ao lastro e conduzir a água drenada do lastro para fora da via, assim protegendo o subleito.

Já o DNIT (2017), apresenta que sublastro tem função de absorver os esforços transmitidos pelo lastro e transferi-los para o terreno subjacente.

É especificado pelo DNIT (2015a) na Instrução de Serviço Ferroviário–ISF número 212, que os tipos de materiais a serem empregados no sublastro terão que ter as seguintes características:

- a granulometria do material deverá se enquadrar nas faixas de A a F da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), conforme o método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER);
- a porcentagem de material passante na peneira nº 200 não poderá superar 2/3 da porcentagem passante na peneira nº 40. A quantidade de material passante na peneira nº 40 deve ter um Limite de Liquidez (LL) menor ou igual a 25% e um Índice de Plasticidade (IP) menor ou igual a 6%;
- o ISC deverá ser determinado conforme o método do DNER-ME-49-94, e o ensaio de compactação de Proctor com a energia intermediária seguirá o método do DNER-ME-162-94;
- o resultado mínimo admissível de projeto para o ISC é 20;
- a expansão máxima de projeto deverá ser de 1%;
- o índice de grupo (IG) deverá ser zero.

Como aponta Silva (2002), o sublastro apresenta importância indispensável para a mecânica da via férrea, onde a estrutura do material que o compõe deve ser adequada para suportar as tensões, assim, é essencial para a eficiência e durabilidade dos projetos que seja feita a identificação e classificação de materiais escolhidos para compor essa camada do pavimento.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA PARA SUBLASTRO FERROVIÁRIO

Para Santos (2017), as obras de engenharia civil são constituídas por uma estrutura e uma fundação, sendo que a sua fundação conjectura o contato com os terrenos, fazendo com que o estudo que se desenvolve respeitante à fundação recorre a um ramo intitulado por geotecnia. Além disso, o autor ressalta que tanto na manutenção como na exploração de uma infraestrutura, a execução do reconhecimento de campo, os trabalhos de prospecção geotécnica e os ensaios in situ e laboratoriais, revelam-se ser de extrema importância para qualquer tomada de decisão.

Camara e Teles (2016), destacam que o objetivo de se caracterizar e classificar os solos na engenharia, através da geologia, é o de poder indicar os seus comportamentos, mecânico e

hidráulico, em obras de engenharia, mineração e meio ambiente, conhecendo-se, ao mesmo tempo, as suas formas de ocorrência e a geometria das camadas nos locais em estudo.

No item 4.1 da ISF-207 (DNIT, 2015b) estão descritos os estudos geotécnicos na fase de projeto básico para ferrovias, onde no subitem “e” é especificado que os estudos geotécnicos para materiais de sublastro devem estar dentro desse projeto. Conforme a respectiva ISF, investigações geotécnicas são feitas a partir da realização de ensaios laboratoriais, sendo estes a análise granulométrica, limite de liquidez e plasticidade (limites de Atterberg), ensaio de compactação de Proctor intermediário, devidamente executado seguindo a norma brasileira e ensaio de CBR, também seguindo a norma brasileira.

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

A classificação correta de um solo, conforme Camara e Teles (2016), traz conhecimento necessário para qualquer tipo de construção ou atividade em uma determinada região. É através disso que são analisados aspectos como as características fundamentais de drenagem, do potencial de sustentação ao peso, identificação do nível de resistência do solo, entre outros.

Conforme Das e Sobhan (2014), os solos podem ser classificados em grupos e subgrupos de acordo com seu comportamento, assim, a maioria dos sistemas de classificação de solos desenvolvidos tem como base as propriedades simples de índice, como distribuição granulométrica e plasticidade. Existem duas categorias principais de sistemas de classificação, a classificação textural, que tem como base a distribuição da porcentagem de areia, silte e frações de argila presentes em determinado solo; e a classificação pelo comportamento do solo, a principal categoria de caracterização, onde se considera a distribuição granulométrica e a plasticidade.

Caputo (2016) e Almeida (2005) afirmam que dois principais sistemas de classificação baseados no comportamento do solo, são o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), e a classificação *Highway Research Board* (HRB) originada da classificação de *Public Roads Administration*.

### 2.3.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)

Santos (2017) descreve o SUCS, idealizado por Arthur Casagrande como uma classificação que é destinada a direcionar a utilização dos solos com materiais de aterro, em aterros para estradas, aeródromos, barragens de terra, etc., e dividindo os solos em 15 grupos, sendo essa divisão feita com base nas respectivas características de identificação, a composição

granulométrica e limites de consistência. Esse sistema é utilizado em muitas obras, possibilitando a associação de cada um dos grupos de solos referidos a determinados comportamentos, mais ou menos desejáveis para diversos fins.

Caputo (2016) descreve que nesse sistema os solos são classificados em três grupos, pelas suas características granulométricas:

- Solos Grossos: aqueles cujo o diâmetro da maioria dos seus grãos é maior que 0,075 mm (mais que 50% em peso dos seus grãos ficam retidos na peneira de nº 200).
- Solos Finos: aqueles cujo o diâmetro da maioria dos seus grãos é menor que 0,075 mm.
- Turfas: solos demasiadamente orgânicos, geralmente fibrilares e muito compressíveis.

Para classificar os solos, são utilizados símbolos para indicar as respectivas propriedades, conforme descritas por Pinto (2006) e descritos no Quadro 1.

**Quadro 1** - Símbolos utilizados no Sistema Unificado de Classificação.

SÍMBOLOS - SUCS	
G	Pedregulho
S	Areia
M	Silte
C	Argila
O	Solo orgânico
W	Bem graduado
P	Mal graduado
H	Alta compressibilidade
L	Baixa compressibilidade
Pt	Turfas

Fonte: Adaptado de Pinto (2006).

O Quadro 2 descreve as propriedades dos diferentes tipos de solos dessa classificação, conforme apresentado por Almeida (2005), baseado nos índices granulométricos e nos limites de consistência, considerando a carta de plasticidade.

**Quadro 2** - Classificação geral (SUCS).

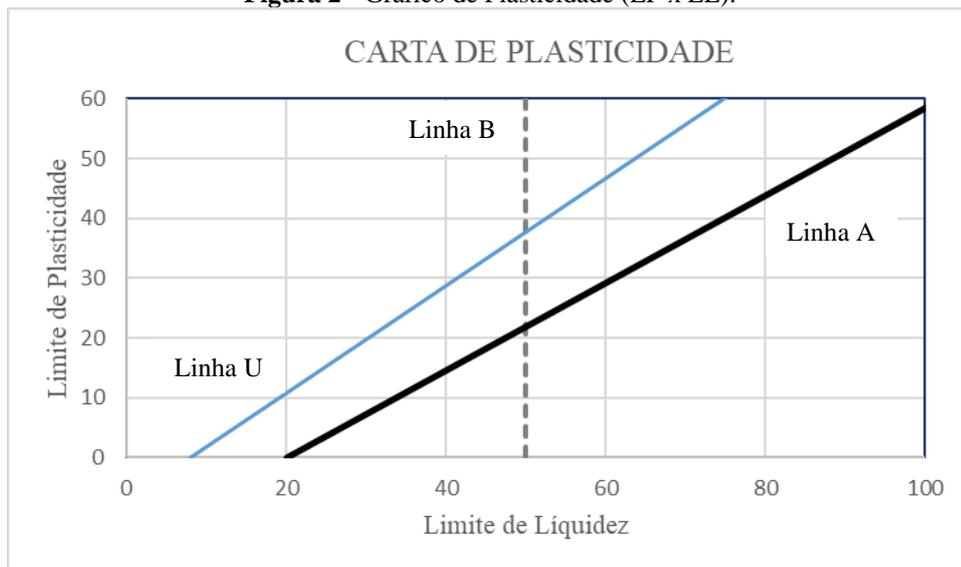
SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (SUCS)			
<i>Critérios para atribuir símbolos aos grupos</i>			
<b>Solos grossos</b> Mais de 50% de material retido na peneira nº 200	<b>Pedregulhos</b>	Pedregulhos puros	$Cu \geq 4$ e $1 \leq Cc \leq 3$
	Mais de 50% da fração grossa retida na peneira de nº 4	Menos de 5% de finos	$Cu < 4$ e/ou $Cc < 1$ ou $Cc > 3$
		Pedregulhos com finos	$IP < 4$ ou representado abaixo da linha "A"
		Mais de 12% dos finos	$IP > 7$ e representado acima ou na linha "A"
	<b>Areias</b>	Areias puras	$Cu \geq 6$ e $1 \leq Cc \leq 3$
	50% ou mais da fração grossa passa pela peneira de nº 4	Menos de 5% de finos	$Cu < 6$ e/ou $Cc < 1$ ou $Cc > 3$
Areias com finos		$IP < 4$ ou representado abaixo da linha "A"	
Mais de 12% dos finos		$IP > 7$ e representado acima ou na linha "A"	
<b>Solos finos</b>	<b>Siltos e argilas</b>	Inorgânicos	$IP > 7$ e representado acima ou na linha "A"

50% ou mais do material passa pela peneira nº 200	Limite de liquidez menos que 50		IP < 4 ou representado abaixo da linha "A"
		Orgânicos	(LL seco em estufa / LL sem secagem) < 0,75
	<b>Siltos e argilas</b> Limite de liquidez de 50 ou mais	Inorgânicos	IP representado acima ou na linha "A"
		Orgânicos	(LL seco em estufa / LL sem secagem) < 0,75

Fonte: Adaptado de Das e Sobhan (2014).

A carta de plasticidade foi definida por Casagrande e relaciona o índice de plasticidade e o limite de liquidez de um solo (RODRIGUES, 2019). Para Dirksen (2018), na análise granulométrica, os solos granulares com poucos finos podem ser classificados como bem ou mal graduado. Porém, quando mais de 12% de finos estiverem presentes em um solo a porcentagem de finos afetará o comportamento, assim, deverá ser realizada a avaliação a partir da consideração das características da parcela fina do solo utilizando-se a carta de plasticidade, conforme mostrado na Figura 2.

**Figura 2** - Gráfico de Plasticidade (LP x LL).

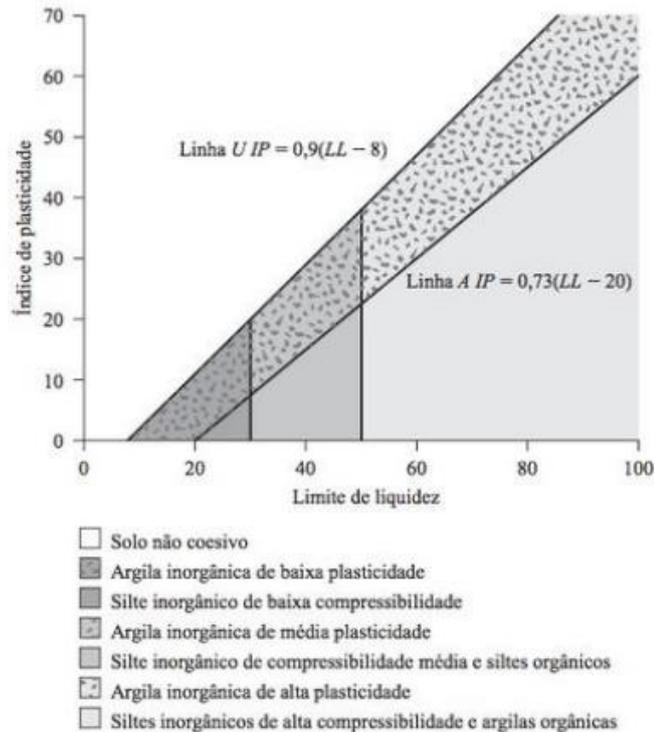


Fonte: Adaptado de Almeida (2005).

O gráfico da Figura 2 é dividido em duas zonas, no qual a Linha A permite distinguir os pontos que se encontram acima da linha, caracterizados como argila (C), e os que se encontram abaixo da linha, caracterizados como silte (M), conforme Crevelin (2018). A Linha B divide o solo conforme sua compressibilidade, a partir do valor do LL: para LL > 50 os solos possuem alta compressibilidade e para LL < 50, os solos possuem baixa compressibilidade. Já a linha U, para Das e Sobhan (2014), é aproximadamente a linha superior de relação do IP ao

LL para qualquer solo conhecido, além disso os autores ilustram na Figura 3 a caracterização dos solos através da carta de plasticidade conforme a SUCS.

**Figura 3** - Classificação do solo a partir da carta de plasticidade.



Fonte: Das e Sobhan (2014).

### 2.3.2 Sistema de Classificação Highway Research Board (HRB)

O sistema de classificação HRB é utilizado na engenharia em todo mundo com o objetivo de analisar os materiais de base e sub-base de pavimentos, normalizado pela AASHTO em 1973. Essa classificação baseia-se na granulometria, no limite de liquidez e índice de plasticidade dos solos. Assim, esse sistema classifica os solos em oito grupos, sendo três deles solos granulares (A-1, A-2 e A-3), quatro grupos de solos finos (A-4, A-5, A-6 e A-7) e um grupo de solo orgânico (A-8), afirma Rodrigues (2019).

A classificação é feita através do Quadro 3 e do Índice de Grupo (IG) que, conforme Caputo (2016), o IG é o número inteiro que varia de 0 a 20, definidor da capacidade de suporte do terreno de fundação de um pavimento.

**Quadro 1 - Sistema de Classificação do HRB.**

<b>SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO HBR</b>											
Classificação geral	Solos granulares (P200 < 35%)							Solos silto-argilosos (P200 > 35%)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
P10	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P40	<30	<50	>50	-	-	-	-	-	-	-	-
P200	<15	<25	<10	<35	<35	<35	<35	<35	<35	<35	<35
LL	-	-	-	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40
IP	<6	<6	NP	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	<4	<4	<8	<12	<16	<20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia fina	Pedregulho e areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	

Fonte: Adaptado de Caputo (2016).

Caputo (2016), incrementa a tabela com as seguintes notas:

- P10, P40 e P200 indicam, respectivamente, as porcentagens que passam as peneiras números 10 (2 mm), 40 (0,42 mm) e 200 (0,074 mm);
- LL e IP referem-se à fração passando na #40;
- para o subgrupo A-7-5:  $IP < LL-30$ , e para o A-7-6:  $IP > LL-30$ ;
- a identificação é feita da esquerda para a direita, razão por que o A-1 é colocado antes do A-2, sem que isso signifique superioridade daquele sobre este;
- $IG = (P200 - 34) \times [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (P200 - 15) \times (IP - 10)$ , onde os valores podem variar de 0 a 40 nas equações que possuem a P200 e de 0 a 20 para LL e IP.

### 3 MÉTODO DA PESQUISA

Neste capítulo, caracteriza-se a metodologia de pesquisa utilizada no Trabalho de Conclusão de Curso.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

As informações coletadas para a realização do trabalho consistiram na consulta e levantamento de arquivos sobre os ensaios realizados na obra de implantação da Ferrovia Nova Transnordestina, no trecho que liga a Cidade de Missão Velha ao Porto do Pécem no Estado do Ceará. O local de estudo encontra-se no trecho MVP-03 entre os quilômetros 126+940 e 127+420, perfazendo um comprimento de 480 m, localizado na Cidade de Iguatu-CE, mostrado na Figura 4.

**Figura 4 -** Traçado da ferrovia Nova Transnordestina.



Fonte: CSN (2022).

#### 3.2 DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Visando a consolidação do melhor resultado, a pesquisa terá uma natureza aplicada, que segundo Gil (2008) apresenta muitos pontos de contato com a pesquisa pura dependendo de descobertas enriquecendo seu desenvolvimento.

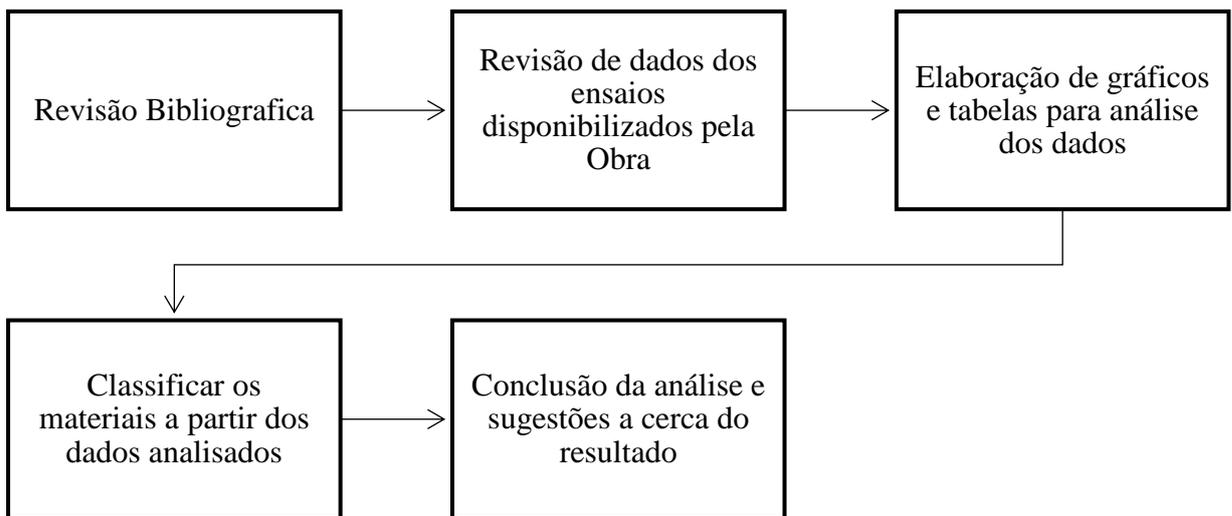
Seu desenvolvimento metodológico foi classificado em forma de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, onde Pereira *et al.* (2018) define estudo de caso como uma descrição e análise mais detalhada possível de algum caso que apresente particularidades que o torna especial.

Quanto aos objetivos a pesquisa foi elaborado de forma descritiva, que conforme conceituado por Gil (2008), pesquisas deste tipo tem como principal objetivo a descrição das características de determinada população, fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis.

O trabalho utilizou uma abordagem qualitativa que, como mencionada por Proetti (2018), que possibilita investigar os fatos e compreendê-los no contexto em que eles ocorreram ou ocorrem, realizando o levantamento e coleta de dados, analisa-os e pode entender a dinâmica dos fatos.

Todo processo de pesquisa está descrito no Fluxograma 1. Partindo deste é possível entender todo trajeto da pesquisa, que tem o objetivo de chegar em resultados e conclusões bem esclarecidos e definidos acerca do assunto abordado no presente estudo.

**Fluxograma 1** - Etapas do processo de pesquisa.



Fonte: Autora (2023).

Foi cedido pela empresa todo acesso aos documentos sobre os ensaios realizados *in loco*, as fichas de laboratório estão no anexo I, essas foram elaboradas durante a realização de etapas anteriores da obra e acrescentadas gráficos acerca dos resultados mostrados, de acordo com a necessidade de cada ensaio. As amostras dos materiais para os ensaios laboratoriais, segundo a empresa, foram coletadas em forma de “zig zag”, com profundidade média de 1,90 m a cada 50 m, na presença de responsáveis técnicos pela execução. Com as amostras foram realizados os ensaios mostrados no Quadro 4 adotando todos os parâmetros descritos em respectiva sua norma técnica:

**Quadro 2** - Ensaio de laboratório realizados pela empresa.

ENSAIOS	NORMA TÉCNICA
Granulometria por Peneiramento	NBR 7181 / DNER-M 80-94.
Limite de Liquidez	NBR 6459
Limite de Plasticidade	NBR 7180
Compactação Proctor Intermediário	NBR 7182 / DNER-ME-162-94
Índice de Suporte Califórnia	NBR 9895 / DNER-ME-49-94

Fonte: Autora (2023).

Conforme a necessidade do embasamento teórico para a análise e interpretação dos ensaios foi realizada a revisão bibliográfica que terá como base a consulta em sites, bancos de dados, normas, livros, apostilas, artigos científicos, monografias, dissertações e teses.

A classificação dos solos estudados deve seguir os principais sistemas adotados, conforme citado no capítulo 1: são eles o SUCS e TRB, e serão apresentados por meio de tabelas.

Logo, a partir do estudo bibliográfico, foram feitas as recomendações acerca dos resultados e a caracterização de solo encontrado no local, e visto se há a necessidade da substituição do solo para o emprego de sub lastro no subtrecho estudado.

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA

Após a coleta dos resultados dos ensaios cedidos pela empresa, foi possível observá-los e organizá-los separadamente para melhor visualização e interpretação.

### 4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos através dos ensaios de análise granulométrica por peneiramento de cada amostra, a partir da porcentagem passante em cada peneira com suas respectivas medidas.

**Tabela 1** - Resultados da análise granulométrica por peneiramento.

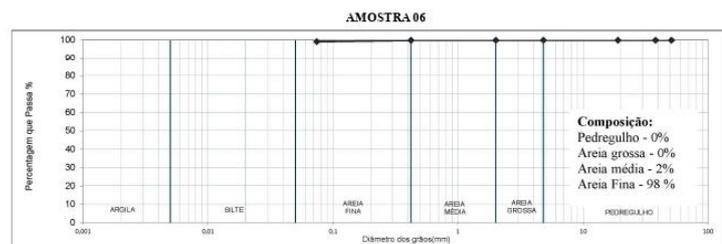
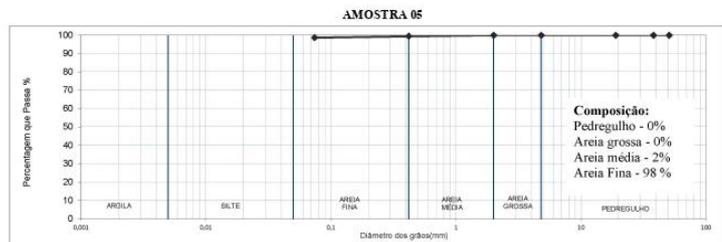
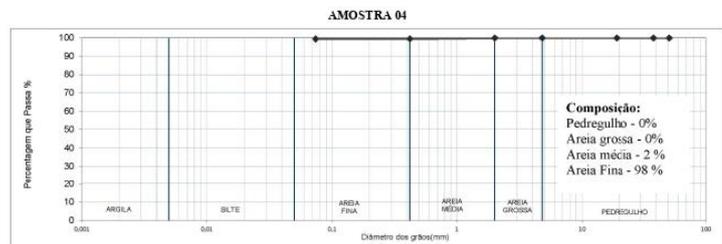
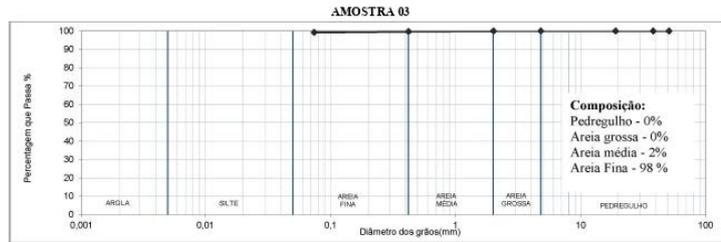
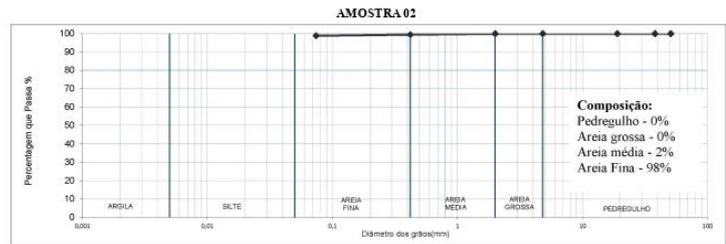
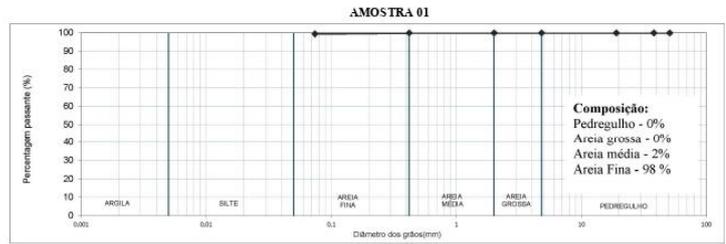
GRANULOMETRIA		AMOSTRA						
n° da peneira	(mm)	01	02	03	04	05	06	
% PASSANDO NAS PENEIRAS	n° 10	2,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
	n° 16	1,20	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
	n° 30	0,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
	n° 40	0,42	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
	n° 50	0,30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
	n° 100	0,15	99,90	99,50	99,70	99,60	99,50	98,70
	n° 200	0,074	99,40	98,90	99,28	99,50	99,90	99,30

Fonte: Autora, 2023.

Os resultados mostram a predominância material fino com mais de 50% de solo passante na peneira de n° 200, que de acordo com a classificação da SUCS pode ser classificado como solos finos. Além disso, todo material possui ausência de solos grossos. Assim, todo material caracterizado pode ser classificado como areia fina, todo material passante está no intervalo entre 0,05mm e 0,4mm. Sem o ensaio de granulometria por sedimentação não é possível analisar a quantidade de silte e argila presente em cada amostra.

Na Figura 5 apresentam-se as curvas granulométricas obtidas para as seis amostras, onde é perceptível que o solo analisado possui em sua maioria grãos do mesmo tamanho, homogêneo, sendo caracterizado como um solo mal graduado, pois sua granulometria apresenta uma curva quase horizontal. Além disso, é ilustrado que 100% do solo analisado nas seis amostras é predominante areia fina, sem a presença de areia grossa, média e pedregulho.

**Figura 5 - Curva granulométrica de cada amostra.**



Fonte: Autora (2023).

Conforme o a ISF-212 (DNIT, 2015a) o material deverá se enquadrar entre as faixas de A à F da AASHO, porém no solo analisado nenhuma faixa é atendida.

Considerando a relevância da alta granulometria fina para o sublastro, de acordo com Silva Filho *et al.* (2020), este deve satisfazer o filtro de Terzaghi, que considera que o sublastro deve ter uma granulometria que permita a infiltração da água de chuva, evitando que o contato do lastro com o sublastro acumule água e solo sendo assim suscetível ao bombeamento.

Pela quantidade de solo retido nessa parcela, o ensaio granulométrico por peneiramento possui uma limitação que só pode caracterizar materiais com diâmetro maior que 0,074.

#### 4.2 LIMITES DE ATTERBERG

Os resultados dos ensaios de determinação dos Limites de Atterberg - sendo estes o Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e de Índice de Plasticidade (IP) - apresentam-se na Tabela 2, onde novamente é confirmada a predominância de finos no solo. Para os ensaios de LL e LP foram realizados seis ensaios para cada amostra, como recomendado na norma, obtendo a média final para cada respectiva amostra.

**Tabela 2** - Resultados dos ensaios dos Limites de Atterberg.

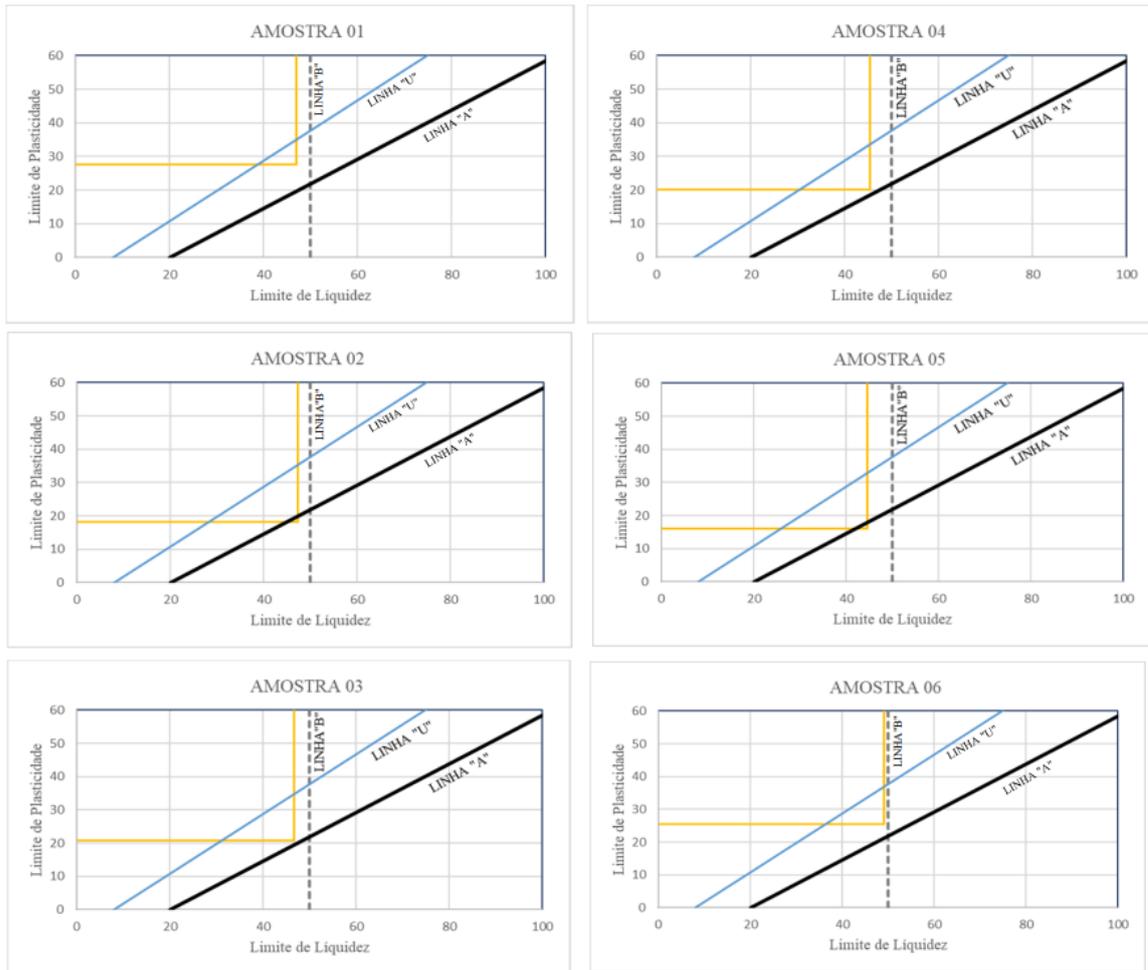
ENSAIO	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	AMOSTRA 05	AMOSTRA 06
LL	46,90	47,30	46,60	45,40	44,50	49,10
LP	19,20	29,20	25,80	25,20	28,40	23,60
IP	27,70	18,10	20,80	20,20	16,10	25,50

Fonte: Autora (2023).

O valor do IP é dado a partir da equação  $IP = LL - LP$ , que das seis amostras analisadas todas possuem um  $IP > 15$ , caracterizando um solo altamente plástico. Com base na especificação de serviço do DNIT-ES 303 (1997), solos com valores elevados de IP, maiores do que 6%, são considerados insatisfatório para o emprego em pavimentos.

A partir dos resultados do LL e IP foi desenvolvido um gráfico de plasticidade, desenvolvido por Casagrande, para cada amostra, pois mais de 50% do solo passa na peneira de nº 200 em todas as amostras, conforme apresentado na Figura 6. Levando em consideração todos os parâmetros estabelecidos pela SUCS, as amostras 01, 03, 04 e 06 estão acima da linha “A” pertencendo este ao grupo da argila inorgânica, e a direita da linha “B”, com  $LL < 50\%$ , indicando baixa compressibilidade. Já as amostras 02 e 05 estão abaixo da linha “A” podendo ser classificado como material silteoso inorgânico, e a direita da linha “B” também indicando baixa compressibilidade.

**Figura 6** - Gráfico de plasticidade das amostras de solo analisadas.



Fonte: Autora, 2023.

Assim, analisando os gráficos de plasticidade conforme a Figura 6, podemos classificar as amostras 01, 03, 04 e 06 como argila inorgânica de média plasticidade e as amostras 02 e 05 silte inorgânicos de média compressibilidade e siltes orgânicos.

### 4.3 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

Nesse item são mostrados os resultados dos ensaios de compactação e dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

#### 4.3.1 Compactação Proctor Intermediário

Os resultados do ensaio de compactação pelo Proctor estão representados na Tabela 3. O ensaio foi realizado mediante a energia intermediária visto que a camada de sublastro deve ser compactada com a energia equivalente à 100% das condições de compactação desse ensaio, conforme Gomes (2018). Os resultados mostram que das seis amostras a 04 contém a maior

umidade ótima, apresentando o maior teor de água, já a amostra 02 contém o menor teor de água por possuir a menor umidade.

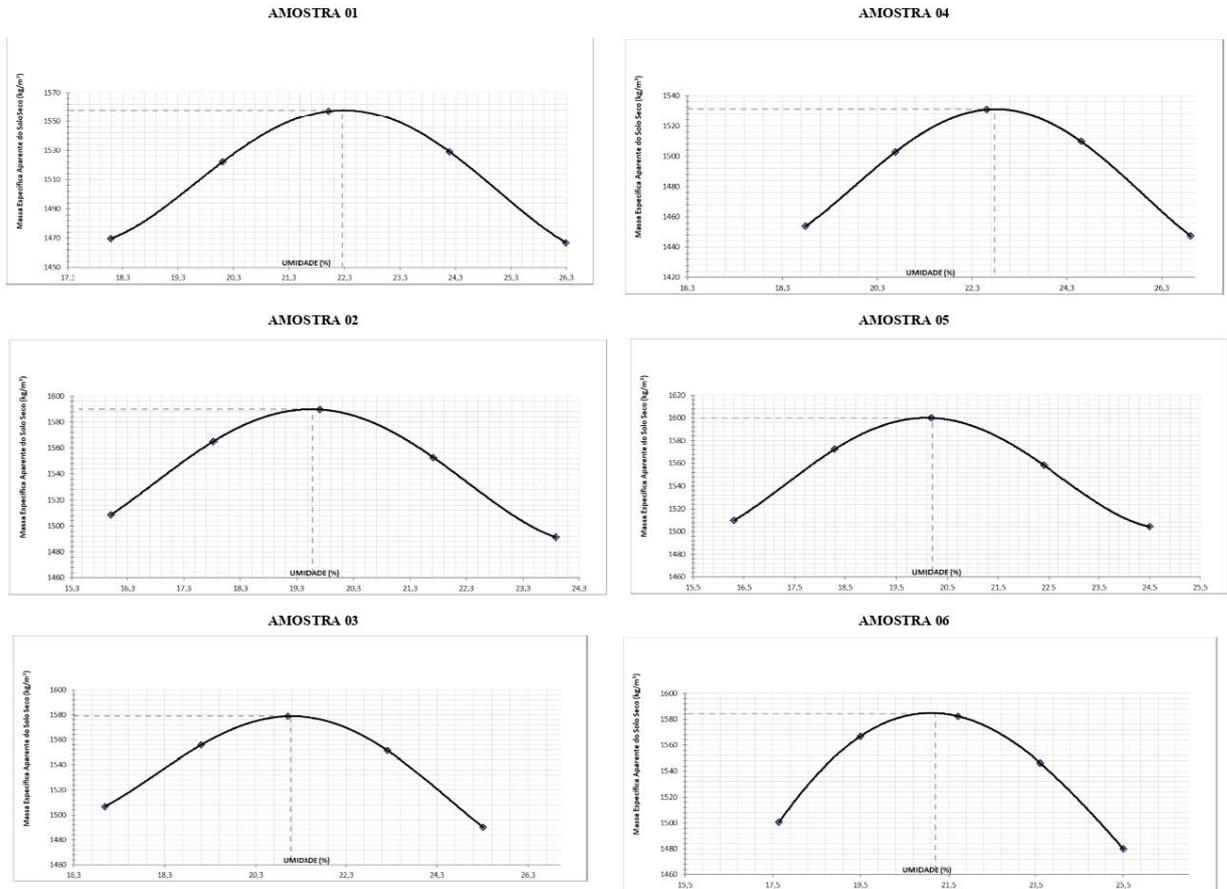
**Tabela 3 - Resultados do ensaio de compactação Proctor.**

ENSAIO		AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	AMOSTRA 05	AMOSTRA 06
COMPAC.	UMID (%)	22,30	19,60	21,10	22,80	20,60	21,20
	DENSID (kg/cm <sup>3</sup> )	1558	1590	1579	1531	1600	1584

Fonte: Autora, 2023.

A umidade ótima demonstra a parcela necessária de água para saturar os vazios correspondente a densidade máxima possível obtida a partir do esforço de compactação. Os valores inferiores a umidade ótima representa o ramo seco, e as posteriores ao valor de umidade ótima o ramo úmido, essa relação é ilustrada nas curvas de compactação de cada amostra na Figura 7. Dentre as amostras, o maior valor referente a densidade seca é a amostra 05 com 1600kg/cm<sup>3</sup> e o menor valor foi na amostra 1531 kg/cm<sup>3</sup>, onde podemos verificar uma variação de valores de água nas amostras quando se aplica um maior o esforço de compactação.

Figura 7 - Curvas de compactação.



Fonte: Autora, 2023.

4.3.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Os resultados do ensaio de ISC estão representados na Tabela 4, podemos verificar o valor de ISC médio igual a 1,76%, porém o valor de ISC mínimo para sua aplicação em sublastro, conforme a ISF-212 (DNT, 2015a) e a ISF-207 (DNT, 2015b), deverá ser maior que 20, logo caracterizando o solo analisado com um valor muito abaixo do estimado.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de ISC.

ENSAIO		AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	AMOSTRA 05	AMOSTRA 06
ISC	EXP.	5,70	5,20	5,60	6,10	5,40	6,10
	I.SC%	1,3	1,2	1,8	1,8	1,4	1,3

Fonte: Autora, 2023.

O valor da expansão média é de 5,68% que, de acordo com a ISF-212 (DNT, 2015a), a expansão máxima para o emprego do material para sublastro deve ser no máximo 1,0; logo, o solo analisado é muito expansivo para garantir os critérios. Assim, nenhuma das seis amostras apresentam o valor de ISC e expansão necessários.

#### 4.4 ÍNDICE DE GRUPO (IG)

O IG é calculado a partir dos resultados dos ensaios de análise granulométrica por peneiramento e dos índices de Atterberg, e estão apresentados na Tabela 5. Esses valores também são utilizados para a classificação do tipo de solo pelo HRB posteriormente.

**Tabela 5** - Resultado dos Índices de Grupo.

	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	AMOSTRA 05	AMOSTRA 06
IG	16,50	12,70	13,70	13,20	11,30	16,00

Fonte: Autora, 2023.

Analisando os resultados é definido um IG médio de 13,87, porém, conforme a ISF-212, o IG ideal deverá ser igual a 0, logo nenhuma das amostras apresentam o IG necessário para sua aplicação para material de sublastro. Assim, dentro da classificação HBR, de acordo com Reinert (2017) esse índice estabelece a ordem dos solos dentro de um grupo, sendo que quanto maior o valor de IG pior será a capacidade de suporte do solo.

#### 4.5 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Com os resultados dos ensaios, apresenta-se a classificação das amostras.

##### 4.5.1 Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS)

Como visto no item 3.1, as amostras apresentam mais de 50% do solo, passando na peneira nº 200, sendo caracterizadas como solos finos de acordo com a SUCS.

Além disso, por conterem mais de 50% da amostra passantes na peneira de nº 200 é necessário o uso da carta de plasticidade, como visto no item 3.5, para classificá-los entre silte (M) e argilas (C). No referido item é visto que as amostras 01, 03, 04 e 06 são classificados como C e as amostras 02 e 05 como M. Sobre a compressibilidade os solos também foram classificados no mesmo item, sendo todas as seis amostras de baixa compressibilidade por possuírem um LL menos que 50.

Logo, as amostras 01, 03, 04 e 06, de acordo com a SUCS são caracterizados como:

CL – argilas de baixa compressibilidade,

e as amostras 02 e 03 como:

ML – siltes de baixa compressibilidade.

Assim, de acordo com Das e Sobhan (2014) essas características descrevem o solo silto-argiloso.

#### 4.5.2 Sistema de Classificação Highway Research Board (HRB)

Para esse sistema de classificação são classificados como solo silto-argilosos os materiais com porcentagens maiores que 35 passantes na peneira de nº 200, logo de acordo com o item 3.1, todas as amostras analisadas atendem essa característica. Logo, o solo pode ser classificado entre os grupos A-4 e A-7, conforme a HRB.

Por mais que os valores de IG das amostras variem entre 11,30 e 16,50, podendo classifica-los entre os grupos A-6 e A-7 todos possuem o  $LL > 30$ , característica específica do subgrupo A-7-6. Este subgrupo é especificado como um solo argiloso e é classificado de regular a mau para a aplicação de subleito, conforme explicado por Caputo (2016).

O quadro 05 mostra o resumo dos ensaios da classificação dos materiais segundo os sistemas de classificações citados, seguidos da descrição dos mesmos.

**Quadro 05 - Resumo da classificação das amostras segundo a SUCS e HRB.**

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO		DESCRIÇÃO DO MATERIAL SEGUNDO O SUCS
	HRB	SUCS	
01	A-7-6	CL	Argila inorgânica de baixa compressibilidade
02	A-7-6	ML	Silte inorgânico de compressibilidade média ou siltes orgânicos
03	A-7-6	CL	Argila inorgânica de baixa compressibilidade e média plasticidade
04	A-7-6	CL	Argila inorgânica de baixa compressibilidade e média plasticidade
05	A-7-6	ML	Silte inorgânico de compressibilidade média ou siltes orgânicos
06	A-7-6	CL	Argila inorgânica de baixa compressibilidade e média plasticidade

Fonte: Autora, 2023.

## 5 CONCLUSÃO

No estudo realizado por meio das fichas de ensaio que apresentavam os resultados dos ensaios de Limites de Atterberg, granulometria por peneiramento, compactação Proctor intermediário e Índice de Suporte Califórnia, foi possível realizar a análise geotécnica do material de solo extraído no sub-trecho da ferrovia fazendo um comparativo com os valores previstos para o uso do solo como material de sublastro conforme as normas do DNIT.

Analisando-se os resultados, é verificado que as amostras estudadas apresentam um material homogêneo com características, dadas pelo ensaio de granulometria por peneiramento, de areia fina, com CBR médio de 1,76%, expansão média de 5,68% e IG de 13,87. Além disso apresentam  $IP > 15$  o caracterizando como um solo altamente plástico e, a partir do gráfico de plasticidade, os materiais foram classificados como siltes e argilas de baixa compressibilidade. Segundo o SUCS, os materiais de solo são classificados como argila de plasticidade baixa e silte de plasticidade baixa, e pertencente ao grupo A-7-6 da classificação HRB.

Segundo a ISF-212 (DNT, 2015a) e a ISF-207 (DNIT, 2015b), a expansão máxima do material aplicado para sublastro ferroviário deverá ser de 1% e o ISC mínimo admissível para o projeto será 20, logo nenhum material analisado obedece a esses parâmetros. Além disso, a granulometria dos solos analisados não atende nenhuma das faixas da ASSHO, de acordo com o método O IG do material deveria ser igual a 0 e a média do material analisado possui uma taxa elevada comparado com os parâmetros normatizados.

Por tanto, o material de solo não é recomendado para ser utilizado para material de sublastro e deve ser substituído. O solo apresenta características plásticas e de baixa compressibilidade que podem afetar diretamente sua capacidade de suporte.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo. **Caracterização física e classificação dos solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora: Departamento de Transportes. Juiz de Fora. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6459**: Solo – Delimitação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7180**: Solo – Delimitação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7181**: Análise granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2016.
- CAMARA, Renato Siqueira de Arruda; TELES, Lucas Sampaio. **Caracterização geotécnica e resiliente de solos na região da estrada de ferro carajás para aplicação em ferrovias**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Ciências e Tecnologia. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2016.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2016.
- CAVALCANTE, Alana da Cruz; RIBEIRO, Maria Rafaela Bezerra de Macedo; NUNES, Caio Yukio; SOUSA, João Guilherme Mota; DELGADO, Bruno Guimarães. Análise mecanística da aplicabilidade de solos constituintes de sublastro em pavimentos ferroviários, por meio de parâmetros obtidos por correlações com a classificação MCT para solos da Região Norte do Brasil. *In*: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2016.
- Companhia Siderúrgica Nacional-CSN. **TLSA**. 2021. Disponível em: <https://www.csn.com.br/quem-somos/grupo-csn/tlsa/>. Acesso em 30 de dezembro de 2022.
- DAS, M. Braja; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning. 2014.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **DNER-ME 049/94**: Solos Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas e Rodagem 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **DNER-ME 080/94**: Solos análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas e Rodagem 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **DNER-ME 162/94**: Solos ensaios de compactação utilizando amostras trabalhadas. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas e Rodagem 1994.

DIRKSEN, Sophia Scharf. **Caracterização e classificação de solos da bacia do Rio Pirai nas adjacências da área de implantação do campus da UFSC Joinville**. Monografia (Graduação em Engenharia de Infraestrutura) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico de Joinville. Santa Catarina. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES-DNIT. **Glossário de termos ferroviários**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES-DNIT. **ISF-212**: projeto de superestrutura da via permanente – lastro e sublastro. 2015a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES-DNIT. **ISF-207**: estudos geotécnicos. 2015b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES-DNIT. **DNER-ES 303/1997**: Pavimentação – base estabilizada granulometricamente. 1997a.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, Mayara Sousa. **Estudos de solos tropicais de granulometria transicional para emprego em pavimento ferroviário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Ciência e Tecnologia. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2018.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti. **Mecânica dos pavimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro, SIB, UFRH, 2005.

NABAIS, Rui José da Silva. **Manual básico de engenharia ferroviária**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

OLIVEIRA, Priscilla Hamada Pessoa. **Estudos geológico-geotécnicos de obras ferroviárias de carga: o ramal ferroviário sudeste do Pará (Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia geológica e de Minas) – Departamento de Ciências da Terra. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. 2017.

PEREIRA, Adriana Soares; SHITSUKA, Dorlivete Moreira; PARREIRA, Fabio José; SHITSUKA, Ricardo. **Metodologia da pesquisa científica**. 1. ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PROETTI, Sidney. **As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: um estudo comparativo e objetivo**. 2018.

RODRIGUES, Tuany Alessandra. **Caracterização geológico-geotécnica de solos para aplicação em obra de reabilitação de via ferroviária.** Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território. Faculdade de Ciências Universidade do Porto, Porto, Portugal. 2019.

RUSSO, Luis Eduardo Abrantes. **Contribuição ao processo de avaliação técnica e seleção dos componentes da grade ferroviária para a implantação em ferrovias de transporte de carga.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

SANTOS, Ana Sofia Lopes. **A Importância da geotecnia na infraestrutura ferroviária.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações) – Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, Portugal. 2017.

SELIG, E. T.; WATERS, J. M. **Track geotechnology and substructure management.** Londres: Thomas Telford Services. 1995.

SILVA FILHO, José Carlos; GUIMARÃES, Antonio Carlos Rodrigues; MARQUES, Maria Esther Soares; CASTRO, Carmen Dias. **Contribuição para o uso de material alternativo em camada de sublastro de ferrovia heavy haul.** Instituto Militar de Engenharia (IME). Rio de Janeiro. 2020.

SILVA, Luiz Francisco Muniz. **Fundamentos Teórico-Experimentais da Mecânica dos Pavimentos Ferroviários e esboço de um Sistema de Gerência Aplicado à Manutenção da Via Permanente.** Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Programas de pós-graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2002.

## ANEXO I – FICHAS DE LABORATÓRIO

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO										AMOSTRA 01		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7182 - SOLO - Ensaio de Compactação												
ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO												
UMID. HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:		04		DENSIDADE MÁXIMA:				
CÁPSULA Nº:		8 20		VOL. DO MOLDE - (dm <sup>3</sup> ):		2078						
PESO SOLO ÚMIDO - (g):		50,00 50,00		PESO DO MOLDE - (g):		5000		1.558 Kg/m <sup>3</sup>				
PESO DA CÁPSULA - (g):		7,37 8,11		PESO DO SOQUETE - (g):		4536						
PESO DA ÁGUA - (g):		3,66 3,79		ESPESSURA DO DISCO		2 1/2"		UMIDADE ÓTIMA:				
PESO DO SOLO SECO - (g):		46,34 46,21		ESPAÇADOR:		12						
UMIDADE - (%):		7,9 8,2		GOLPES/CAMADA:		05		22,3 %				
UMIDADE MÉDIA - (%):		8,0		Nº DE CAMADAS:								
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE												
Nº DOS PONTOS	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA (%)	DENSIDADE SOLO SECO (kg/m <sup>3</sup> )
				CÁPSULA Nº	PESO SOLO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO CÁPSULA (g)	PESO ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO	UMIDADE (%)		
1	8607	3607	1736	1	50,00	N/A	N/A	7,66	42,34	18,1	18,1	1470
2	8799	3799	1828	2	50,00	N/A	N/A	8,37	41,63	20,1	20,1	1522
3	8948	3948	1900	3	50,00	N/A	N/A	9,02	40,98	22,0	22,0	1557
4	8946	3946	1899	4	50,00	N/A	N/A	9,74	40,26	24,2	24,2	1529
5	8850	3850	1853	5	50,00	N/A	N/A	10,41	39,59	26,3	26,3	1467

ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA EM AMOSTRA DE SOLO										AMOSTRA 01		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7181 - SOLO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA												
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO												
CÁPSULA Nº:		31 38		AMOSTRA				TOTAL		PARCIAL		
PESO BRUTO ÚMIDO: (g)		50,00 50,00		CÁPSULA Nº:						05		
PESO DA CÁPSULA: (g)		7,71 7,96		PESO BRUTO ÚMIDO: (g)								
PESO DA ÁGUA: (g)		5,08 5,25		PESO ÚMIDO: (g)				2000,00		200,00		
PESO DO SOLO SECO: (g)		44,92 44,75		PESO RETIDO PENEIRA Nº 10: (g)				0,00				
UMIDADE: (%)		11,3 11,7		PESO ÚMIDO PASS. PENEIRA Nº 10: (g)				2000,00				
UMIDADE MÉDIA: (%)		11,5		PESO SECO PASS. PENEIRA Nº 10: (g)				1793,39				
				PESO DA AMOSTRA SECA: (g)				a= 1793,39		b= 179,34		
PENEIRAMENTO												
AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS		PESO RETIDO PARCIAL	PESO PASSANTE ACUMULADO	% PASSA AMOSTRA TOTAL	DIÂMETRO	CONSTANTES					
	POL.	mm					K1 = 100/a	0,0558				
	2"	50,80				50,80	K2 = c/b	0,5576				
	1" 1/2	38,00				38,00	DADOS DA AMOSTRA					
	1"	25,40				25,40						
	3/4"	19,00				19,00						
	3/8"	9,50				9,50						
	Nº 4	4,80				4,80	DENSIDADE MÁXIMA (g/dm <sup>3</sup> ):	1.558				
Nº 10	2,00				2,00							
Nº 16	1,20				1,20	UMIDADE ÓTIMA (%):	22,3					
Nº 30	0,60				0,60							
Nº 40	0,42	0,10	179,24	99,94	0,42							
Nº 50	0,30		179,24	99,94	0,30							
Nº. 100	0,15		179,24	99,94	0,15							
Nº. 200	0,074	0,91	178,33	99,44	0,07							

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - C.B.R							AMOSTRA 01					
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 9895 - SOLO - Índice de Suporte Califórnia												
<b>ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA</b>												
DADOS DO ENSAIO		UMID. HIGROSCÓPICA			UMID. MOLDAGEM			PARÂMETROS DO ENSAIO				
CÁPSULA:	12	19	-	23	02	-	MOLDE:	18				
PESO SOLO ÚMIDO (g):	50,00	50,00	-	50,00	50,00	-	PESO DO MOLDE (g):	5088				
PESO DA CÁPSULA (g):	7,81	7,55	-	6,70	7,66	-	VOLUME DO MOLDE (dm <sup>3</sup> ):	2080				
PESO DA ÁGUA (g):	3,60	3,71	-	9,12	9,14	-	ENERGIA:	Normal				
PESO DO SOLO SECO (g):	46,40	46,29	-	40,88	40,86	-	Nº GOLPES / Nº CAMADAS:	12/05				
UMIDADE (%):	7,8	8,0	-	22,3	22,4	-	PESO DO SOQUETE (g):	4536				
UMIDADE MÉDIA (%):	7,9			22,3			DISCO ESPAÇADOR (mm):	2" 1/2				
DADOS DA COMPACTAÇÃO				CÁLCULO DA ÁGUA				ID. Anel	144			
DENSIDADE SECA MÁXIMA (kg/m <sup>3</sup> ):		1.558		PESO SOLO PASSANTE PENEIRA Nº 4 (g):			ÚMIDO:	5.000	CONST. DO ANEL (kg/mm)			
UMIDADE ÓTIMA (%):		22,3		PEDREGULHO RETIDO PENEIRA Nº4 (g):			SECO:	4634	0,0649			
UMIDADE HIGROSCÓPICA (%):		7,9		ÁGUA A JUNTAR (ml):			666		Ø DO CIL. DE PENET. (mm)			
DIFERENÇA DE UMIDADE (%):		14,4							50			
<b>ENSAIO DE PENETRAÇÃO</b>							<b>EXPANSÃO</b>					
TEMPO	PENETRAÇÃO		Leitura	PRESSÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )			Corrig./ Padrão (%)	DATA - HORA		Leitura Extens. (mm)	Exp. (mm)	Exp. Acum. (%)
	POL	mm	Extens. (µm)	Determ.	Corrig.	Padrão		(dd/mm/aa)	(hh:mm)			
30 seg.	0,025	0,63	03	0,2				01-06	15:20	1,00	← Inicial	
1 min.	0,050	1,27	07	0,5								
1,5 min.	0,075	1,90										
2 min.	0,100	2,54	14	0,9	0,9	70	1,3	01-06	15:20	3,78	2,78	2,43
3 min.	0,150	3,81										
4 min.	0,200	5,08	19	1,2	1,2	105	1,2	01-06	15:20	5,01	1,23	3,50
6 min.	0,300	7,62	14	1,6		132	1,2					
8 min.	0,400	10,16	29	1,9		161	1,2	01-06	15:20	6,34	1,33	4,66
10 min.	0,500	12,70	36	2,3		182	1,3					
								01-06	15:20	7,56	1,22	5,73
PESO BRUTO ÚMIDO (g):		PESO ÚMIDO (g):		DENSID. ÚMIDA (Kg/m <sup>3</sup> ):			DENSID. SECA (Kg/m <sup>3</sup> ):		GRAU DE COMPACTAÇÃO (%):			
										<b>I.S.C.:</b>	1,3%	
										<b>EXPANSÃO:</b>	5,7%	

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE CONSISTÊNCIA EM AMOSTRA DE SOLO							AMOSTRA 01
TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO:	REVISÃO:	DATA DE VALIDAÇÃO:	FOLHA:			
FORMULÁRIO	FTN-CT-30	00	16/12/2014	1/1			
NORMA(S) DE REFERÊNCIA:	NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade		DATA:				
<b>LIMITE DE LIQUIDEZ</b>							
<b>CÁPSULA:</b>	<b>N.º</b>	<b>26</b>	<b>05</b>	<b>37</b>	<b>34</b>	<b>19</b>	<b>LIMITE DE LIQUIDEZ</b>
GOLPES:	N.º	08	16	28	40	52	
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	14,70	14,00	14,13	14,19	14,40	
PESO BRUTO SECO:	g	12,40	11,99	12,20	12,20	12,35	
PESO DA CÁPSULA:	g	8,05	7,98	7,98	7,73	7,55	
PESO DA ÁGUA:	g	2,30	2,01	1,93	1,99	2,05	
PESO DO SOLO SECO:	g	4,35	4,01	4,22	4,47	4,80	
UMIDADE:	%	52,9	50,1	45,7	44,5	42,7	<b>46,9 %</b>
<b>LIMITE DE PLASTICIDADE</b>							
<b>CÁPSULA:</b>	<b>N.º</b>	<b>31</b>	<b>01</b>	<b>52</b>	<b>45</b>	<b>29</b>	<b>LIMITE DE PLASTICIDADE</b>
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	8,50	8,49	8,81	8,45	8,40	
PESO BRUTO SECO:	g	8,40	8,30	8,70	8,30	8,29	<b>19,2</b>
PESO DA CÁPSULA:	g	7,86	7,33	8,14	7,48	7,74	<b>ÍNDICE DE PLASTICIDADE</b>
PESO DA ÁGUA:	g	0,10	0,19	0,11	0,15	0,11	
PESO DO SOLO SECO:	g	0,54	0,97	0,56	0,82	0,55	<b>27,7</b>
UMIDADE:	%	18,5	19,6	19,6	18,3	20,0	

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO							AMOSTRA 02					
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7182 - SOLO - Ensaio de Compactação												
<b>ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO</b>												
UMID. HIGROSCÓPICA			MOLDE Nº:		04							
CÁPSULA Nº:	8	20	VOL. DO MOLDE - (dm <sup>3</sup> ):		2078							
PESO SOLO ÚMIDO - (g):	50,00	50,00	PESO DO MOLDE - (g):		5000							
PESO DA CÁPSULA - (g):	7,37	8,11	PESO DO SOQUETE - (g):		4536							
PESO DA ÁGUA - (g):	3,27	3,18	ESPESSURA DO DISCO ESPAÇADOR:		<b>2 1/2"</b>							
PESO DO SOLO SECO - (g):	46,73	46,82	GOLPES/CAMADA:		<b>12</b>							
UMIDADE - (%):	7,0	6,8	Nº DE CAMADAS:		<b>05</b>							
UMIDADE MÉDIA - (%):	6,9				<b>19,6 %</b>							
<b>DETERMINAÇÃO DA UMIDADE</b>												
Nº DOS PONTOS	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA (%)	DENSIDADE SOLO SECO (kg/m <sup>3</sup> )
				CÁPSULA Nº	PESO SOLO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO CÁPSULA (g)	PESO ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO	UMIDADE (%)		
1	8637	3637	1750	1	50,00	N/A	N/A	6,90	43,10	16,0	16,0	1509
2	8831	3831	1844	2	50,00	N/A	N/A	7,56	42,44	17,8	17,8	1565
3	8954	3954	1903	3	50,00	N/A	N/A	8,23	41,77	19,7	19,7	1590
4	8927	3927	1890	4	50,00	N/A	N/A	8,92	41,08	21,7	21,7	1553
5	8839	3839	1847	5	50,00	N/A	N/A	9,64	40,36	23,9	23,9	1491

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - C.B.R										AMOSTRA 02			
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 9895 - SOLO - Índice de Suporte Califórnia													
ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA													
DADOS DO ENSAIO		UMID. HIGROSCÓPICA			UMID. MOLDAGEM			PARÂMETROS DO ENSAIO					
CÁPSULA:	12	19	-	23	02	-	MOLDE:			05			
PESO SOLO ÚMIDO (g):	50,00	50,00	-	50,00	50,00	-	PESO DO MOLDE (g):			5178			
PESO DA CÁPSULA (g):	7,81	7,55	-	6,70	7,66	-	VOLUME DO MOLDE (dm <sup>3</sup> ):			2078			
PESO DA ÁGUA (g):	3,20	3,23	-	8,19	8,21	-	ENERGIA:			Normal			
PESO DO SOLO SECO (g):	46,80	46,77	-	41,81	41,79	-	Nº GOLPES / Nº CAMADAS:			12/05			
UMIDADE (%):	6,8	6,9	-	19,6	19,6	-	PESO DO SOQUETE (g):			4536			
UMIDADE MÉDIA (%):	6,9			19,6			DISCO ESPAÇADOR (mm):			2" 1/2			
DADOS DA COMPACTAÇÃO							CÁLCULO DA ÁGUA			ID. Anel 144			
DENSIDADE SECA MÁXIMA (kg/m <sup>3</sup> ):		1.590			PESO SOLO PASSANTE PENEIRA Nº 4 (g):			ÚMIDO:	5.000	CONST. DO ANEL (kg/mm)			
UMIDADE ÓTIMA (%):		19,6						SECO:	4678	0,0649			
UMIDADE HIGROSCÓPICA (%):		6,9			PEDREGULHO RETIDO PENEIRA Nº4 (g):			0		Ø DO CIL. DE PENET. (mm)			
DIFERENÇA DE UMIDADE (%):		12,7			ÁGUA A JUNTAR (ml):			594		50			
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							EXPANSÃO						
TEMPO	PENETRAÇÃO		Leitura Extens. (µm)	PRESSÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )			Corrig./ Padrão (%)	DATA - HORA		Leitura Extens. (mm)	Exp. (mm)	Exp. Acum. (%)	
	POL	mm		Determ.	Corrig.	Padrão		(dd/mm/aa)	(hh:mm)				
30 seg.	0,025	0,63	04	0,3				01-06	15:40	1,00	Inicial		
1 min.	0,050	1,27	08	0,5									
1,5 min.	0,075	1,90											
2 min.	0,100	2,54	13	0,8	0,8	70	1,1	02-06	15:40	3,70	2,70	2,38	
3 min.	0,150	3,81											
4 min.	0,200	5,08	18	1,2	1,2	105	1,1	03-06	15:40	4,57	0,87	3,15	
6 min.	0,300	7,62	21	1,4		132	1,0						
8 min.	0,400	10,16	27	1,8		161	1,1	04-06	15:40	5,90	1,33	4,32	
10 min.	0,500	12,70	34	2,2		182	1,2	05-06	15:40	6,91	1,01	5,21	
PESO BRUTO ÚMIDO (g):		PESO ÚMIDO (g):		DENSID. ÚMIDA (Kg/m <sup>3</sup> ):		DENSID. SECA (Kg/m <sup>3</sup> ):		GRAU DE COMPACTAÇÃO (%):					
9110		3932		1892		1582		99,5					
										I.S.C.:		1,2%	
										EXPANSÃO:		5,2%	

ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA EM AMOSTRA DE SOLO						AMOSTRA 02		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7181 - SOLO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA								
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO								
CÁPSULA N.º:	07	08	AMOSTRA			TOTAL	PARCIAL	
PESO BRUTO ÚMIDO: (g)	50,00	50,00	CÁPSULA N.º:				05	
PESO DA CÁPSULA: (g)	7,89	7,37	PESO BRUTO ÚMIDO: (g)					
PESO DA ÁGUA: (g)	3,58	3,66	PESO ÚMIDO: (g)			2000,00	200,00	
PESO DO SOLO SECO: (g)	46,42	46,34	PESO RETIDO PENEIRA N.º 10: (g)			0,00		
UMIDADE: (%)	7,7	7,9	PESO ÚMIDO PASS. PENEIRA N.º 10: (g)			2000,00		
UMIDADE MÉDIA: (%)	7,8		PESO SECO PASS. PENEIRA N.º 10: (g)			1855,20		
			PESO DA AMOSTRA SECA: (g)			a= 1855,20	b= 185,52	
PENEIRAMENTO								
AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS		PESO RETIDO PARCIAL	PESO PASSANTE ACUMULADO	% PASSA AMOSTRA TOTAL	DIÂMETRO	CONSTANTES	
	POL.	mm					K1 = 100/a	0,0539
	2"	50,80				50,80	K2 = c/b	0,5390
	1" 1/2	38,00				38,00	DADOS DA AMOSTRA	
	1"	25,40				25,40	DENSIDADE MÁXIMA (g/dm³):	1.590
	3/4"	19,00				19,00		
	3/8"	9,50				9,50	UMIDADE ÓTIMA (%):	19,6
	N.º 4	4,80				4,80		
N.º 10	2,00				2,00			
N.º 16	1,20				1,20			
AMOSTRA PARCIAL	N.º 30	0,60				0,60		
	N.º 40	0,42	1,02	184,50	99,45	0,42		
	N.º 50	0,30		184,50	99,45	0,30		
	N.º. 100	0,15		184,50	99,45	0,15		
	N.º. 200	0,074	1,09	183,41	98,86	0,07		

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE CONSISTÊNCIA EM AMOSTRA DE SOLO							AMOSTRA 02	
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade								
LIMITE DE LIQUIDEZ								
CÁPSULA:	N.º	22	16	39	28	40	LIMITE DE LIQUIDEZ  <b>47,3 %</b>	
GOLPES:	N.º	11	22	30	40	52		
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	13,90	14,98	13,19	14,00	14,87		
PESO BRUTO SECO:	g	12,06	12,70	11,45	12,19	12,90		
PESO DA CÁPSULA:	g	8,55	8,05	7,69	8,14	8,11		
PESO DA ÁGUA:	g	1,84	2,28	1,74	1,81	1,97		
PESO DO SOLO SECO:	g	3,51	4,65	3,76	4,05	4,79		
UMIDADE:	%	52,4	49,0	46,3	44,7	41,1		
LIMITE DE PLASTICIDADE								
CÁPSULA:	N.º	12	50	03	04	13	LIMITE DE PLASTICIDADE	
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	8,70	9,60	8,50	7,80	8,60	<b>29,2</b>	
PESO BRUTO SECO:	g	8,51	9,36	8,28	7,60	8,40		
PESO DA CÁPSULA:	g	7,86	8,54	7,54	6,92	7,69	ÍNDICE DE PLASTICIDADE	
PESO DA ÁGUA:	g	0,19	0,24	0,22	0,20	0,20		
PESO DO SOLO SECO:	g	0,65	0,82	0,74	0,68	0,71	<b>18,2</b>	
UMIDADE:	%	29,2	29,3	29,7	29,4	28,2		

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO										AMOSTRA 03		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7182 - SOLO - Ensaio de Compactação												
ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO												
UMID. HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:		04		DENSIDADE MÁXIMA:				
CÁPSULA Nº:	8	20	VOL. DO MOLDE - (dm <sup>3</sup> ):		2078							
PESO SOLO ÚMIDO - (g):	50,00	50,00	PESO DO MOLDE - (g):		5000		1.579 Kg/m <sup>3</sup>					
PESO DA CÁPSULA - (g):	7,37	8,11	PESO DO SOQUETE - (g):		4536							
PESO DA ÁGUA - (g):	3,53	3,62	ESPESURA DO DISCO		2 1/2"		UMIDADE ÓTIMA:					
PESO DO SOLO SECO - (g):	46,47	46,38	GOLPES/CAMADA:		12							
UMIDADE - (%):	7,6	7,8	Nº DE CAMADAS:		05		21,1 %					
UMIDADE MÉDIA - (%):	7,7											
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE												
Nº DOS PONTOS	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA (%)	DENSIDADE SOLO SECO (kg/m <sup>3</sup> )
				CÁPSULA Nº	PESO SOLO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO CÁPSULA (g)	PESO ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO	UMIDADE (%)		
1	8663	3663	1763	1	50,00	N/A	N/A	7,26	42,74	17,0	17,0	1507
2	8851	3851	1853	2	50,00	N/A	N/A	8,02	41,98	19,1	19,1	1556
3	8970	3970	1910	3	50,00	N/A	N/A	8,68	41,32	21,0	21,0	1579
4	8972	3972	1911	4	50,00	N/A	N/A	9,42	40,58	23,2	23,2	1551
5	8880	3880	1867	5	50,00	N/A	N/A	10,10	39,90	25,3	25,3	1490

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - C.B.R										AMOSTRA 03			
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 9895 - SOLO - Índice de Suporte Califórnia													
ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA													
DADOS DO ENSAIO		UMID. HIGROSCÓPICA			UMID. MOLDAGEM			PARÂMETROS DO ENSAIO					
CÁPSULA:		12	19	-	23	02	-	MOLDE:		05			
PESO SOLO ÚMIDO (g):		50,00	50,00	-	50,00	50,00	-	PESO DO MOLDE (g):		5223			
PESO DA CÁPSULA (g):		7,81	7,55	-	6,70	7,66	-	VOLUME DO MOLDE (dm <sup>3</sup> ):		2087			
PESO DA ÁGUA (g):		3,20	3,23	-	8,68	8,70	-	ENERGIA:		Normal			
PESO DO SOLO SECO (g):		46,45	46,40	-	41,32	41,30	-	N° GOLPES / N° CAMADAS:		12/05			
UMIDADE (%):		7,6	7,8	-	21,0	21,1	-	PESO DO SOQUETE (g):		4536			
UMIDADE MÉDIA (%):		7,7			21,0			DISCO ESPAÇADOR (mm):		2" / 1/2			
								ALTURA DO CORPO-DE-PROVA (mm):		113,5			
DADOS DA COMPACTAÇÃO						CÁLCULO DA ÁGUA				ID. AneI 144			
DENSIDADE SECA MÁXIMA (kg/m <sup>3</sup> ):			1,579			PESO SOLO PASSANTE PENEIRA N° 4 (g):		ÚMIDO:		5,000	CONST. DO ANEL (kgf/mm)		
UMIDADE ÓTIMA (%):			21,1					SECO:		4642	0,0649		
UMIDADE HIGROSCÓPICA (%):			7,7			PEDREGULHO RETIDO PENEIRA N°4 (g):		0		Ø DO CIL. DE PENET. (mm)			
DIFERENÇA DE UMIDADE (%):			13,4			ÁGUA A JUNTAR (ml):		620		50			
ENSAIO DE PENETRAÇÃO								EXPANSÃO					
TEMPO	PENETRAÇÃO		Leitura	PRESSÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )			Corrig./ Padrão (%)	DATA - HORA		Leitura Extens. (mm)	Exp. (mm)	Exp. Acum. (%)	
	POL	mm	Extens. (µm)	Determ.	Corrig.	Padrão		(dd/mm/aa)	(hh:mm)				
30 seg.	0,025	0,63	06	0,4				01-06	16:30	1,00	← Inicial		
1 min.	0,050	1,27	12	0,8									
1,5 min.	0,075	1,90											
2 min.	0,100	2,54	19	1,2	1,2	70	1,8	02-06	16:30	3,79	2,79	2,46	
3 min.	0,150	3,81											
4 min.	0,200	5,08	24	1,6	1,6	105	1,5	03-06	16:30	5,00	1,21	3,52	
6 min.	0,300	7,62	30	1,9		132	1,5						
8 min.	0,400	10,16	36	2,3		161	1,5	04-06	16:30	6,17	1,17	4,56	
10 min.	0,500	12,70	41	2,7		182	1,5	05-06	16:30	7,31	1,14	5,56	
PESO BRUTO ÚMIDO (g):		PESO ÚMIDO (g):		DENSID. ÚMIDA (Kg/m <sup>3</sup> ):			DENSID. SECA (Kg/m <sup>3</sup> ):		GRAU DE COMPACTAÇÃO (%):				
9203		3980		1907			1576		99,8				
										I.S.C.:		1,8%	
										EXPANSÃO:		5,6%	
INFORMAÇÕES DA AMOSTRA													
COLETOR DA AMOSTRA:		KM		REGISTRO DA AMOSTRA:				DATA DA COLETA:				00/00/0000	
ORIGEM DO MATERIAL:		126+940						DATA DO ENSAIO:					
COORDENADAS (UTM):		E: N/A PROFUND:		LADO:									
		N: N/A Km:		ATERRO / CAMADA:									
SUB-TRECHO:		126+940 A 127+240		BORDOS: BE [ ] EX [ X ] BD [ ]									
OBSERVAÇÃO:													
V													

ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA EM AMOSTRA DE SOLO					AMOSTRA 03			
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7181 - SOLO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA								
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO								
CÁPSULA N.º:	31	38	AMOSTRA		TOTAL	PARCIAL		
PESO BRUTO ÚMIDO: (g)	50,00	50,00	CÁPSULA N.º:			05		
PESO DA CÁPSULA: (g)	7,71	7,96	PESO BRUTO ÚMIDO: (g)					
PESO DA ÁGUA: (g)	4,36	4,38	PESO ÚMIDO: (g)		2000,00	200,00		
PESO DO SOLO SECO: (g)	45,64	45,62	PESO RETIDO PENEIRA N.º 10: (g)		0,00			
UMIDADE: (%)	9,6	9,6	PESO ÚMIDO PASS. PENEIRA N.º 10: (g)		2000,00			
UMIDADE MÉDIA: (%)	9,6		PESO SECO PASS. PENEIRA N.º 10: (g)		1825,20			
			PESO DA AMOSTRA SECA: (g)		a= 1825,20	b= 182,52		
PENEIRAMENTO								
AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS		PESO RETIDO PARCIAL	PESO PASSANTE ACUMULADO	% PASSA AMOSTRA TOTAL	DIÂMETRO	CONSTANTES	
	POL.	mm					K1 = 100/a	0,0548
	2"	50,80				50,80	K2 = c/b	0,5479
	1" 1/2	38,00				38,00	DADOS DA AMOSTRA	
	1"	25,40				25,40	DENSIDADE MÁXIMA (g/dm³):	1,579
	3/4"	19,00				19,00	UMIDADE ÓTIMA (%): 21,1	
	3/8"	9,50				9,50		
	N.º 4	4,80				4,80		
	N.º 10	2,00				2,00		
	N.º 16	1,20				1,20		
AMOSTRA PARCIAL	N.º 30	0,60				0,60		
	N.º 40	0,42	0,51	182,01	99,72	0,42		
	N.º 50	0,30		182,01	99,72	0,30		
	N.º. 100	0,15		182,01	99,72	0,15		
	N.º. 200	0,074	0,80	181,21	99,28	0,07		

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE CONSISTÊNCIA EM AMOSTRA DE SOLO							AMOSTRA 03	
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade								
LIMITE DE LIQUIDEZ								
CÁPSULA:	N.º	28	11	07	50	51	LIMITE DE LIQUIDEZ  <b>46,6 %</b>	
GOLPES:	N.º	09	18	28	38	48		
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	14,55	14,53	15,15	14,20	14,00		
PESO BRUTO SECO:	g	12,40	12,40	12,82	12,44	12,09		
PESO DA CÁPSULA:	g	8,14	7,93	7,89	8,54	7,67		
PESO DA ÁGUA:	g	2,15	2,13	2,33	1,76	1,91		
PESO DO SOLO SECO:	g	4,26	4,47	4,93	3,90	4,42		
UMIDADE:	%	50,5	47,7	47,3	45,1	43,2		
LIMITE DE PLASTICIDADE								
CÁPSULA:	N.º	22	52	14	24	04	LIMITE DE PLASTICIDADE	
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	9,79	9,10	8,78	8,90	7,90	<b>25,8</b>	
PESO BRUTO SECO:	g	9,40	8,90	8,60	8,70	7,70		
PESO DA CÁPSULA:	g	7,86	8,14	7,87	7,96	6,92	ÍNDICE DE PLASTICIDADE	
PESO DA ÁGUA:	g	0,39	0,20	0,18	0,20	0,20		
PESO DO SOLO SECO:	g	1,54	0,76	0,73	0,74	0,78	<b>20,8</b>	
UMIDADE:	%	25,3	26,3	24,7	27,0	25,6		

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO										AMOSTRA 04		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7182 - SOLO - Ensaio de Compactação												
ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO												
UMID. HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:		04						
CÁPSULA Nº:	8	20	VOL. DO MOLDE - (dm <sup>3</sup> ):		2078		DENSIDADE MÁXIMA:					
PESO SOLO ÚMIDO - (g):	50,00	50,00	PESO DO MOLDE - (g):		5000		1.531 Kg/m <sup>3</sup>					
PESO DA CÁPSULA - (g):	7,37	8,11	PESO DO SOQUETE - (g):		4536							
PESO DA ÁGUA - (g):	2,74	2,83	ESPESSURA DO DISCO ESPAÇADOR:		2 1/2"		UMIDADE ÓTIMA:					
PESO DO SOLO SECO - (g):	47,25	47,17	GOLPES/CAMADA:		12		22,8 %					
UMIDADE - (%):	5,8	6,0	Nº DE CAMADAS:		05							
UMIDADE MÉDIA - (%):	5,9											
Nº DOS PONTOS	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA (%)	DENSIDADE SOLO SECO (kg/m <sup>3</sup> )
				CÁPSULA Nº	PESO SOLO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO CÁPSULA (g)	PESO ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO	UMIDADE (%)		
1	8589	3589	1727	1	50,00	N/A	N/A	7,91	42,09	18,8	18,8	1454
2	8769	3769	1814	2	50,00	N/A	N/A	8,57	41,43	20,7	20,7	1503
3	8900	3900	1877	3	50,00	N/A	N/A	9,22	40,78	22,6	22,6	1531
4	8909	3909	1881	4	50,00	N/A	N/A	9,87	40,13	24,6	24,6	1510
5	8817	3817	1837	5	50,00	N/A	N/A	10,60	39,40	26,9	26,9	1447



ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - C.B.R										AMOSTRA 04		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 9895 - SOLO - Índice de Suporte Califórnia												
ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA												
DADOS DO ENSAIO			UMID. HIGROSCÓPICA			UMID. MOLDAGEM			PARÂMETROS DO ENSAIO			
CÁPSULA:	12	19	-	23	02	-	MOLDE:	24		24		
PESO SOLO ÚMIDO (g):	50,00	50,00	-	50,00	50,00	-	PESO DO MOLDE (g):	5146		5146		
PESO DA CÁPSULA (g):	7,81	7,55	-	6,70	7,66	-	VOLUME DO MOLDE (dm <sup>3</sup> ):	2105		2105		
PESO DA ÁGUA (g):	2,80	2,69	-	9,05	9,03	-	ENERGIA:	Normal		Normal		
PESO DO SOLO SECO (g):	47,20	47,31	-	40,95	40,97	-	Nº GOLPES / Nº CAMADAS:	12/05		12/05		
UMIDADE (%):	5,9	5,7	-	22,1	22,0	-	PESO DO SOQUETE (g):	4536		4536		
UMIDADE MÉDIA (%):	5,8			22,1			DISCO ESPAÇADOR (mm):	2" 1/2		2" 1/2		
DADOS DA COMPACTAÇÃO						CÁLCULO DA ÁGUA			ID. Anel 144			
DENSIDADE SECA MÁXIMA (kg/m <sup>3</sup> ):			1.531			PESO SOLO PASSANTE PENEIRA Nº 4 (g):			ÚMIDO:	5.000	CONST. DO ANEL (kgf/mm)	
UMIDADE ÓTIMA (%):			22,8			PEDREGULHO RETIDO PENEIRA Nº4 (g):			SECO:	4725	0,0649	
UMIDADE HIGROSCÓPICA (%):			5,8			ÁGUA A JUNTAR (ml):			0	Ø DO CIL. DE PENET. (mm)		
DIFERENÇA DE UMIDADE (%):			17,0			ÁGUA A JUNTAR (ml):			802	50		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						EXPANSÃO						
TEMPO	PENETRAÇÃO		Leitura Extens. (µm)	PRESSÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )			Corrig./ Padrão (%)	DATA - HORA		Leitura Extens. (mm)	Exp. (mm)	Exp. Acum. (%)
	POL	mm		Determ.	Corrig.	Padrão		(dd/mm/aa)	(hh:mm)			
30 seg.	0,025	0,63	06	0,4			01-06	17:00	1,00	← Inicial		
1 min.	0,050	1,27	12	0,8								
1,5 min.	0,075	1,90										
2 min.	0,100	2,54	19	1,2	1,2	70	1,8	02-06	17:00	4,00	3,00	2,60
3 min.	0,150	3,81										
4 min.	0,200	5,08	24	1,6	1,6	105	1,5	03-06	17:00	5,09	1,09	3,55
6 min.	0,300	7,62	30	1,9		132	1,5					
8 min.	0,400	10,16	36	2,3		161	1,5	04-06	17:00	6,17	1,08	4,48
10 min.	0,500	12,70	41	2,7		182	1,5	05-06	17:00	8,00	1,83	6,07
PESO BRUTO ÚMIDO (g): 9203												
PESO ÚMIDO (g): 4057												
DENSID. ÚMIDA (Kg/m <sup>3</sup> ): 1927												
DENSID. SECA (Kg/m <sup>3</sup> ): 1579												
GRAU DE COMPACTAÇÃO (%): 103,1												
										I.S.C.: 1,8%		
										EXPANSÃO: 6,1%		

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE CONSISTÊNCIA EM AMOSTRA DE SOLO							AMOSTRA 04
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade							
LIMITE DE LIQUIDEZ							
CÁPSULA:	N.º	22	04	03	16	40	LIMITE DE LIQUIDEZ  <b>45,4 %</b>
GOLPES:	N.º	10	18	29	39	50	
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	14,70	12,60	12,68	14,10	15,30	
PESO BRUTO SECO:	g	12,60	10,80	11,10	12,28	13,20	
PESO DA CÁPSULA:	g	8,55	6,92	7,54	8,05	8,11	
PESO DA ÁGUA:	g	2,10	1,80	1,58	1,82	2,10	
PESO DO SOLO SECO:	g	4,05	3,88	3,56	4,23	5,09	
UMIDADE:	%	51,9	46,4	44,4	43,0	41,3	
LIMITE DE PLASTICIDADE							
CÁPSULA:	N.º	28	50	12	39	13	LIMITE DE PLASTICIDADE  <b>25,2</b>
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	8,80	9,22	8,40	8,45	8,40	
PESO BRUTO SECO:	g	8,60	9,08	8,28	8,30	8,26	
PESO DA CÁPSULA:	g	7,85	8,54	7,81	7,69	7,69	ÍNDICE DE PLASTICIDADE  <b>20,3</b>
PESO DA ÁGUA:	g	0,20	0,14	0,12	0,15	0,14	
PESO DO SOLO SECO:	g	0,74	0,54	0,47	0,61	0,57	
UMIDADE:	%	27,0	25,9	25,5	24,6	24,6	

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - C.B.R										AMOSTRA 05			
NORMA(S) DE REFERÊNCIA:										NBR 9895 - SOLO - Índice de Suporte Califórnia			
ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA													
DADOS DO ENSAIO			UMID. HIGROSCÓPICA			UMID. MOLDAGEM			PARÂMETROS DO ENSAIO				
CÁPSULA:	12	19	-	23	02	-	MOLDE:			24			
PESO SOLO ÚMIDO (g):	50,00	50,00	-	50,00	50,00	-	PESO DO MOLDE (g):			5175			
PESO DA CÁPSULA (g):	7,81	7,55	-	6,70	7,66	-	VOLUME DO MOLDE (dm <sup>3</sup> ):			2071			
PESO DA ÁGUA (g):	2,97	2,92	-	8,68	8,70	-	ENERGIA:			Normal			
PESO DO SOLO SECO (g):	47,03	47,08	-	41,32	41,30	-	Nº GOLPES / Nº CAMADAS:			12/05			
UMIDADE (%):	6,3	6,2	-	21,0	21,1	-	PESO DO SOQUETE (g):			4536			
UMIDADE MÉDIA (%):	6,3			21,0			DISCO ESPAÇADOR (mm):			2" 1/2			
DADOS DA COMPACTAÇÃO			CÁLCULO DA ÁGUA			ID. Anel			144				
DENSIDADE SECA MÁXIMA (kg/m <sup>3</sup> ):	1.600			PESO SOLO PASSANTE PENEIRA Nº 4 (g):			ÚMIDO:	5.000	CONST. DO ANEL (kgf/mm)				
UMIDADE ÓTIMA (%):	20,2			PEDREGULHO RETIDO PENEIRA Nº4 (g):			SECO:	4705	0,0649				
UMIDADE HIGROSCÓPICA (%):	6,3			ÁGUA A JUNTAR (ml):			658		Ø DO CIL. DE PENET. (mm)				
DIFERENÇA DE UMIDADE (%):	14,0			EXPANSÃO					50				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							EXPANSÃO						
TEMPO	PENETRAÇÃO		Leitura Extens. (µm)	PRESSÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )			Corrig./ Padrão (%)	DATA - HORA		Leitura Extens. (mm)	Exp. (mm)	Exp. Acum. (%)	
	POL	mm		Determ.	Corrig.	Padrão		(dd/mm/aa)	(hh:mm)				
30 seg.	0,025	0,63	05	0,3				01-06	15:00	1,00	Inicial		
1 min.	0,050	1,27	08	0,5									
1,5 min.	0,075	1,90						02-06	15:00	3,37	2,37	2,05	
2 min.	0,100	2,54	15	1,0	1,0	70	1,4	03-06	15:00	4,70	1,33	3,20	
3 min.	0,150	3,81											
4 min.	0,200	5,08	21	1,4	1,4	105	1,3	04-06	15:00	5,97	1,27	4,30	
6 min.	0,300	7,62	25	1,6									
8 min.	0,400	10,16	29	1,9				05-06	15:00	7,21	1,24	5,38	
10 min.	0,500	12,70	35	2,3									
PESO BRUTO ÚMIDO (g):										9203			
PESO ÚMIDO (g):										4028			
DENSID. ÚMIDA (Kg/m <sup>3</sup> ):										1945			
DENSID. SECA (Kg/m <sup>3</sup> ):										1607			
GRAU DE COMPACTAÇÃO (%):										100,4			
										I.S.C.:		1,4%	
										EXPANSÃO:		5,4%	

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO										AMOSTRA 05		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7182 - SOLO - Ensaio de Compactação												
ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO												
UMID. HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:		04		DENSIDADE MÁXIMA:				
CÁPSULA Nº:		8 20		VOL. DO MOLDE - (dm <sup>3</sup> ):		2078						
PESO SOLO ÚMIDO - (g):		50,00 50,00		PESO DO MOLDE - (g):		5000		1.600 Kg/m <sup>3</sup>				
PESO DA CÁPSULA - (g):		7,37 8,11		PESO DO SOQUETE - (g):		4536						
PESO DA ÁGUA - (g):		3,00 2,98		ESPESSURA DO DISCO ESPAÇADOR:		2 1/2"		UMIDADE ÓTIMA:				
PESO DO SOLO SECO - (g):		47,00 47,02		GOLPES/CAMADA:		12						
UMIDADE - (%):		6,4 6,3		Nº DE CAMADAS:		05		20,2 %				
UMIDADE MÉDIA - (%):		6,4										
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE												
Nº DOS PONTOS	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	CÁPSULA Nº	PESO SOLO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO CÁPSULA (g)	PESO ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO	UMIDADE (%)	UMIDADE MÉDIA (%)	DENSIDADE SOLO SECO (kg/m <sup>3</sup> )
1	8649	3649	1756	1	50,00	N/A	N/A	7,01	42,99	16,3	16,3	1510
2	8865	3865	1860	2	50,00	N/A	N/A	7,73	42,27	18,3	18,3	1572
3	8996	3996	1923	3	50,00	N/A	N/A	8,40	41,60	20,2	20,2	1600
4	8964	3964	1908	4	50,00	N/A	N/A	9,15	40,85	22,4	22,4	1559
5	8892	3892	1873	5	50,00	N/A	N/A	9,84	40,16	24,5	24,5	1504

ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA EM AMOSTRA DE SOLO										AMOSTRA 05		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7181 - SOLO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA												
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO												
CÁPSULA Nº:		19 22		AMOSTRA				TOTAL		PARCIAL		
PESO BRUTO ÚMIDO: (g)		50,00 50,00		CÁPSULA Nº:						05		
PESO DA CÁPSULA: (g)		7,55 7,99		PESO BRUTO ÚMIDO: (g)								
				PESO ÚMIDO: (g)				2000,00		200,00		
PESO DA ÁGUA: (g)		4,30 4,20		PESO RETIDO PENEIRA Nº 10: (g)				0,00				
PESO DO SOLO SECO: (g)		45,70 45,80		PESO ÚMIDO PASS. PENEIRA Nº 10: (g)				2000,00				
UMIDADE: (%)		9,4 9,2		PESO SECO PASS. PENEIRA Nº 10: (g)				1830,00				
UMIDADE MÉDIA: (%)		9,3		PESO DA AMOSTRA SECA: (g)				a= 1830,00		b= 183,00		
PENEIRAMENTO												
AMOSTRA TOTAL		PENEIRAS		PESO RETIDO PARCIAL	PESO PASSANTE ACUMULADO	% PASSA AMOSTRA TOTAL	DIÂMETRO	CONSTANTES				
		POL.	mm					K1 = 100/a		0,0546		
		2"	50,80					K2 = c/b		0,5464		
		1" 1/2	38,00					DADOS DA AMOSTRA				
		1"	25,40									
		3/4"	19,00									
		3/8"	9,50									
		Nº 4	4,80					DENSIDADE MÁXIMA (g/dm <sup>3</sup> ):		1.600		
		Nº 10	2,00									
AMOSTRA PARCIAL		Nº 16	1,20					UMIDADE ÓTIMA (%):		20,2		
		Nº 30	0,60									
		Nº 40	0,42	1,01	181,99	99,45	0,42					
		Nº 50	0,30		181,99	99,45	0,30					
		Nº. 100	0,15		181,99	99,45	0,15					
		Nº. 200	0,074	1,33	180,66	98,72	0,07					

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE CONSISTÊNCIA EM AMOSTRA DE SOLO							AMOSTRA 05
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade							
<b>LIMITE DE LIQUIDEZ</b>							
<b>CÁPSULA:</b>	<b>N.º</b>	<b>32</b>	<b>45</b>	<b>41</b>	<b>01</b>	<b>60</b>	<b>LIMITE DE LIQUIDEZ</b>
GOLPES:	N.º	09	18	28	38	48	
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	15,10	15,00	13,81	15,69	15,20	
PESO BRUTO SECO:	g	12,70	12,60	11,93	13,21	13,00	
PESO DA CÁPSULA:	g	7,78	7,48	7,72	7,33	7,60	
PESO DA ÁGUA:	g	2,40	2,40	1,88	2,48	2,20	
PESO DO SOLO SECO:	g	4,92	5,12	4,21	5,88	5,40	
UMIDADE:	%	48,8	46,9	44,7	42,2	40,7	<b>44,5 %</b>
<b>LIMITE DE PLASTICIDADE</b>							
<b>CÁPSULA:</b>	<b>N.º</b>	<b>57</b>	<b>56</b>	<b>54</b>	<b>33</b>	<b>43</b>	<b>LIMITE DE PLASTICIDADE</b>
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	8,70	8,76	8,51	8,20	8,80	
PESO BRUTO SECO:	g	8,51	8,52	8,30	8,00	8,62	<b>28,4</b>
PESO DA CÁPSULA:	g	7,86	7,65	7,56	7,30	7,98	
PESO DA ÁGUA:	g	0,19	0,24	0,21	0,20	0,18	
PESO DO SOLO SECO:	g	0,65	0,87	0,74	0,70	0,64	<b>ÍNDICE DE PLASTICIDADE</b>
UMIDADE:	%	29,2	27,6	28,4	28,6	28,1	
							<b>16,1</b>

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE CONSISTÊNCIA EM AMOSTRA DE SOLO							AMOSTRA 06
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade							
<b>LIMITE DE LIQUIDEZ</b>							
<b>CÁPSULA:</b>	<b>N.º</b>	<b>07</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>43</b>	<b>LIMITE DE LIQUIDEZ</b>
GOLPES:	N.º	11	18	29	39	49	
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	14,20	14,50	14,80	14,30	13,30	
PESO BRUTO SECO:	g	12,00	12,30	12,53	12,30	11,62	
PESO DA CÁPSULA:	g	7,89	7,93	7,87	7,96	7,98	
PESO DA ÁGUA:	g	2,20	2,20	2,27	2,00	1,68	
PESO DO SOLO SECO:	g	4,11	4,37	4,66	4,34	3,64	
UMIDADE:	%	53,5	50,3	48,7	46,1	46,2	<b>49,1 %</b>
<b>LIMITE DE PLASTICIDADE</b>							
<b>CÁPSULA:</b>	<b>N.º</b>	<b>59</b>	<b>49</b>	<b>33</b>	<b>41</b>	<b>23</b>	<b>LIMITE DE PLASTICIDADE</b>
PESO BRUTO ÚMIDO:	g	8,99	8,75	7,99	8,19	7,58	
PESO BRUTO SECO:	g	8,79	8,60	7,86	8,10	7,41	<b>23,6</b>
PESO DA CÁPSULA:	g	7,86	8,01	7,30	7,72	6,70	
PESO DA ÁGUA:	g	0,20	0,15	0,13	0,09	0,17	
PESO DO SOLO SECO:	g	0,93	0,59	0,56	0,38	0,71	<b>ÍNDICE DE PLASTICIDADE</b>
UMIDADE:	%	21,5	25,4	23,2	23,7	23,9	
							<b>25,5</b>



ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - C.B.R										AMOSTRA 06			
NORMA(S) DE REFERÊNCIA:										NBR 9895 - SOLO - Índice de Suporte Califórnia			
ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA													
DADOS DO ENSAIO			UMID. HIGROSCÓPICA			UMID. MOLDAGEM			PARÂMETROS DO ENSAIO				
CÁPSULA:	12	19	-	23	02	-	MOLDE:			23			
PESO SOLO ÚMIDO (g):	50,00	50,00	-	50,00	50,00	-	PESO DO MOLDE (g):			4889			
PESO DA CÁPSULA (g):	7,81	7,55	-	6,70	7,66	-	VOLUME DO MOLDE (dm <sup>3</sup> ):			2103			
PESO DA ÁGUA (g):	3,40	3,49	-	8,61	8,62	-	ENERGIA:			Normal			
PESO DO SOLO SECO (g):	46,60	46,51	-	41,39	41,38	-	Nº GOLPES / Nº CAMADAS:			12/05			
UMIDADE (%):	7,3	7,5	-	20,8	20,8	-	PESO DO SOQUETE (g):			4536			
UMIDADE MÉDIA (%):	7,4			20,8			DISCO ESPAÇADOR (mm):			2" 1/2			
DADOS DA COMPACTAÇÃO			CÁLCULO DA ÁGUA			ID. Anel			144				
DENSIDADE SECA MÁXIMA (kg/m <sup>3</sup> ):	1.584			PESO SOLO PASSANTE PENEIRA Nº 4 (g):			ÚMIDO:	5.000	CONST. DO ANEL (kgf/mm)				
UMIDADE ÓTIMA (%):	21,2			PEDREGULHO RETIDO PENEIRA Nº4 (g):			SECO:	4655	0,0649				
UMIDADE HIGROSCÓPICA (%):	7,4			ÁGUA A JUNTAR (ml):			640		Ø DO CIL. DE PENET. (mm)				
DIFERENÇA DE UMIDADE (%):	13,8								50				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						EXPANSÃO							
TEMPO	PENETRAÇÃO		Leitura Extens. (µm)	PRESSÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )			Corrig./ Padrão (%)	DATA - HORA		Leitura Extens. (mm)	Exp. (mm)	Exp. Acum. (%)	
	POL	mm		Determ.	Corrig.	Padrão		(dd/mm/aa)	(hh:mm)				
30 seg.	0,025	0,63	05	0,3				01-06	16:00	1,00	Inicial		
1 min.	0,050	1,27	08	0,5									
1,5 min.	0,075	1,90						02-06	16:00	3,59	2,59	2,26	
2 min.	0,100	2,54	15	0,9	0,9	70	1,3						
3 min.	0,150	3,81						03-06	16:00	4,67	1,08	3,20	
4 min.	0,200	5,08	21	1,2	1,2	105	1,1						
6 min.	0,300	7,62	25	1,5		132	1,1	04-06	16:00	6,20	1,53	4,53	
8 min.	0,400	10,16	29	1,8		161	1,1						
10 min.	0,500	12,70	35	1,9		182	1,1	05-06	16:00	7,97	1,77	6,08	
PESO BRUTO ÚMIDO (g):			PESO ÚMIDO (g):			DENSID. ÚMIDA (Kg/m <sup>3</sup> ):			DENSID. SECA (Kg/m <sup>3</sup> ):			GRAU DE COMPACTAÇÃO (%):	
9203			4314			2051			1698			107,2	
										I.S.C.:		1,3%	
										EXPANSÃO:		6,1%	

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO										AMOSTRA 06		
NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 7182 - SOLO - Ensaio de Compactação												
ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO EM AMOSTRA DE SOLO												
UMID. HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:		04		DENSIDADE MÁXIMA:				
CÁPSULA Nº:	8	20	VOL. DO MOLDE - (dm <sup>3</sup> ):		2078							
PESO SOLO ÚMIDO - (g):	50,00	50,00	PESO DO MOLDE - (g):		5000		1.584 Kg/m <sup>3</sup>					
PESO DA CÁPSULA - (g):	7,37	8,11	PESO DO SOQUETE - (g):		4536							
PESO DA ÁGUA - (g):	3,40	3,49	ESPESSURA DO DISCO ESPAÇADOR:		2 1/2"		UMIDADE ÓTIMA:					
PESO DO SOLO SECO - (g):	46,60	46,51	GOLPES/CAMADA:		12							
UMIDADE - (%):	7,3	7,5	Nº DE CAMADAS:		05		21,2 %					
UMIDADE MÉDIA - (%):	7,4											
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE												
Nº DOS PONTOS	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA (%)	DENSIDADE SOLO SECO (kg/m <sup>3</sup> )
				CÁPSULA Nº	PESO SOLO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO CÁPSULA (g)	PESO ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO	UMIDADE (%)		
1	8669	3669	1766	1	50,00	N/A	N/A	7,50	42,50	17,6	17,6	1501
2	8891	3891	1872	2	50,00	N/A	N/A	8,16	41,84	19,5	19,5	1567
3	9002	4002	1926	3	50,00	N/A	N/A	8,92	41,08	21,7	21,7	1582
4	8971	3971	1911	4	50,00	N/A	N/A	9,55	40,45	23,6	23,6	1546
5	8860	3860	1858	5	50,00	N/A	N/A	10,16	39,84	25,5	25,5	1480