



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Gyullia Gabriela Alencar Camelo

MELHORAMENTO DE SOLO COM RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTAÇÃO

Palmas – TO

2018

Gyullia Gabriela Alencar Camelo
MELHORAMENTO DE SOLO COM RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
PARA PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Msc. Jacqueline Henrique.

Co-orientador: Prof. Esp. Fernando Moreno

Palmas – TO
2018

Gyullia Gabriela Alencar Camelo
MELHORAMENTO DE SOLO COM RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
PARA PAVIMENTAÇÃO

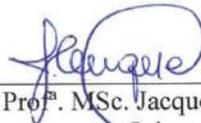
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Msc. Jacqueline Henrique..

Co-orientador: Prof. Esp. Fernando Moreno
Suarte

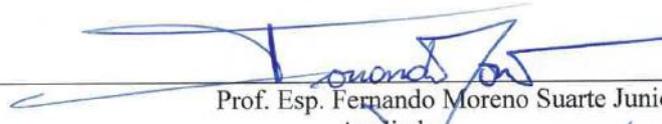
Aprovado em: 14 / 11 / 2018

BANCA EXAMINADORA



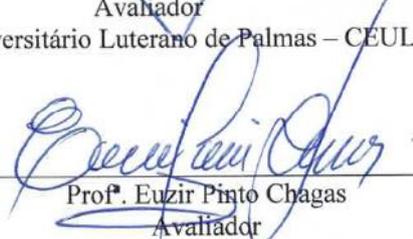
Prof.^a. MSc. Jacqueline Henrique.
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior
Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Euzir Pinto Chagas
Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar em todos os momentos, por me dar paciência e sabedoria para esperar pela concretização deste sonho. Em Deus encontrei fé, esperança e conforto para enfrentar as dificuldades, mantive em meu coração que tudo seria conforme a sua vontade, então confiei e Ele realizou. A Deus TODA honra e TODA Glória!

Ao meu esposo Tito Rodrigues pela compreensão, apoio e amor dedicado a mim, por me incentivar a ser uma pessoa melhor e também por cuidar tão bem dos nossos filhos enquanto estava ausente estudando, fazendo trabalhos. Obrigada... A você, minha admiração, amor, carinho e gratidão.

Aos meus filhos Thomaz e Manuela por darem uma nova visão e sentido para minha vida, vocês são o motivo principal desta realização acontecer, dedico a vocês. Obrigada por se comportarem enquanto mamãe esteve ausente e perdão por ignorá-los em momentos de estudo, o fiz com o coração apertado. Vocês são meu maior tesouro.

Aos meus pais Rosaly e Gilberto por acreditar, orar por mim e pelo investimento financeiro (muito caro, mas valeu demais) minha dívida com vocês é eterna, pois não conseguirei retribuí-los em vida por me proporcionar tamanha felicidade e realização. Obrigada... amo vocês, meus alicerces.

A minha cunhada Mysia Oliveira por me incentivar e ajudar com a correção deste trabalho. Também pelo cuidado e carinho dedicados aos meus filhos enquanto estava na faculdade, oro para que Deus realize todos os seus sonhos, te desejo o melhor nesta terra e digo que podes contar comigo para ajudá-la seja o que for, pois em ti encontrei além de uma amiga, uma companheira de jornada. Obrigada!

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Civil do CEULP que contribuíram para a minha formação, vocês foram essenciais na minha evolução, passando toda vivência profissional de vocês. Agradeço em especial minha Orientadora Professora MSc. Jacqueline Henrique e ao Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior por me instruírem com muito empenho e dedicação durante a construção desta pesquisa.

Aos colegas de graduação meu agradecimento pela parceria e companheirismo, tínhamos um sonho em comum, e foi muito satisfatório realiza-lo junto a vocês. Desejo que vocês obtenham muito sucesso profissional e que nunca desistam dos seus sonhos. Nos vemos por ai!

RESUMO

Camelo, Gyullia Alencar. **MELHORAMENTO DE SOLO COM RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PAVIMENTAÇÃO**. 2018. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

Neste trabalho realizou-se um estudo sobre o comportamento do Resíduo da Construção Civil (RCC) da usina de reciclagem do município de Palmas como material facultativo na estabilização de solo para a pavimentação, onde foi verificada as características físicas, os ensaios de Limite de Liquidez (NBR 6459/16), Limite de Plasticidade (NBR 7180/16), Compactação (NBR 7182/16), CBR (DNIT 172/2016-ME), Granulometria (NBR 7181/16), Massa Unitária (NBR NM 45/2006) e Massa Específica (NBR 7185/16). O solo natural capturado em local pontual em Palmas recebeu teores de 5%, 10%, 15% e 20% de RCC com a finalidade de estabilizar o solo para camada de sub base e base da pavimentação e proporcionar uma destinação final para o resíduo sólido, associado ao interesse de minimizar a exploração de pedreiras e de novas jazidas para obter matéria-prima de empréstimo, e assim minimizar o custos, impactos ambientais e sociais gerados pelo o setor da construção civil. Após levar em consideração todos esses aspectos e realizar os estudos necessários, pode-se afirmar que a reciclagem do RCC apresentou resultados satisfatórios quanto a sua utilização como material alternativo na estabilização de solo para pavimentação porém deve-se haver cautela na dosagem. Diante das dosagens o melhor resultado foi para o teor de 5 %, a medida que foi acrescentando a quantidade de resíduo, o solo foi diminuindo sua resistência a penetração.

Palavras-chave: Resíduo Sólidos, Resíduo de Construção Civil, Sustentabilidade, Estabilização de Solo.

ABSTRACT

Camelo, Gyullia Alencar. **SOIL IMPROVEMENT WITH SOLID WASTE FROM CIVIL CONSTRUCTION FOR PAVING**. 2018. 64f. Course Completion Work (Undergraduate) Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2018.

This work was carried out a study on the behavior of the Residue of the Civil Construction (RCC) of the recycling plant of the municipality of Palmas as optional material in the soil stabilization for the pavement, where it was verified the physical characteristics, the tests of Liquidity Limit (NBR 6459/16), Plasticity Limit (NBR 7180/16), Compression (NBR 7182/16), CBR (DNIT 172/2016-ME), Granulometry (NBR 7181/16), Unitary Mass) and Specific Mass (NBR 7185/16). The natural soil captured at a point site in Palmas received doses of 5%, 10%, 15% and 20% of RCC in order to stabilize the soil for sub base layer and base of the pavement and to provide a final destination for the solid residue, associated with the interest of minimizing the exploitation of quarries and new deposits to obtain raw material for loan, and thus minimize the costs, environmental and social impacts generated by the construction industry. After taking all these aspects into account and carrying out the necessary studies, it can be stated that the RCC recycling presented satisfactory results as to its use as an alternative material in soil stabilization for paving but caution should be taken in the dosage. Before the dosages the best result was for the content of 5%, as it was adding the amount of residue, the soil was reducing its resistance to penetration.

Keywords: Solid Waste, Construction Waste, Sustainability, Soil Stabilization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Seção transversal de Pavimento Flexível

Figura 2- Localização via satélite do Solo Natural

Figura 3- Localização via satélite da Usina de Reciclagem de RCC de Palmas

Figura 4- Ensaio Granulométrico com as aberturas de peneiras

Figura 5- Ensaios de Limite de Plasticidade e Liquidez

Figura 6- Execução do ensaio de compactação

Figura 7- Execução do Ensaio de CBR

Figura 8- Componentes presentes no agregado de RCC

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Limites de CBR para camadas de Pavimentação

Quadro 2- Classificação (SUCS)

Quadro 3- Classificação TRB

Quadro 4- Limite de CBR e Expansão do reciclado para camadas de pavimento

Quadro 5- Classificação da Camada conforme o CBR do RCC

Quadro 6- Resumo dos Limites de Consistência

Quadro 7- Resumo de Classificação do Solo Natural

Quadro 8- Classificação da Camada conforme o CBR do Solo Natural

Quadro 9- Resumo Limites solo + 10% RCC

Quadro 10- Resumo Limites solo + 20% RCC

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ensaaios com o tipo de material e norma pertinente

Tabela 2-Massa de cada componente da amostra de RCC

Tabela 3- Análise Granulométrica do RCC

Tabela 4- Análise Granulométrica do Solo Natural

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1- Determinação de umidade ótima
- Gráfico 2- Curva de compactação
- Gráfico 3- Curva de CBR
- Gráfico 4- Porcentagem em massa dos componentes do RCC
- Gráfico 5- Curva Granulométrica do RCC
- Gráfico 6-CBR do RCC
- Gráfico 7- Limite de Liquidez solo referencia
- Gráfico 8- Curva de compactação do solo natural
- Gráfico 9- CBR do solo natural
- Gráfico 10- Comparação dos ensaio granulométricos
- Gráfico 10- Comparativos das densidades das amostras
- Gráfico 11- Limite de Liquidez do Solo Natural + 10% RCC
- Gráfico 12-Limite de Liquidez do Solo Natural + 20% RCC
- Gráfico 13- Comparativo dos CBR de dosagens de RCC
- Gráfico 14- Porcentagem de melhoramento do CBR conforme as adições de RCC

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
HRB	Highway Research Board
TRB	Transportation Research Board
LMS	Laboratório de Mecânica dos Solos
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	grau Celsius
cm	centímetro
g	grama
h	teor de umidade
IP	Índice de Plasticidade
kg	quilograma
km	quilômetro
LL	limite de liquidez
LP	limite de plasticidade
Min	minuto
ml	mililitro
mm	milímetro
n°	número
N	número de golpes na determinação de um ponto do ensaio
Ph	massa do solo
Ps	massa do solo seco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	2
1.2 HIPÓTESES	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo Geral.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 JUSTIFICATIVA	3
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	4
2.1 SOLOS APLICADOS A ENGENHARIA CIVIL	4
2.1.1 ÍNDICES FÍSICOS DOS SOLOS	4
2.1.2 CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ATRAVES DE ENSAIOS	4
2.1.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	5
2.1.4 LIMITES DE CONSISTÊNCIA	6
2.1.5 LIMITE DE LIQUIDEZ.....	6
2.1.6 LIMITE DE PLASTICIDADE.....	7
2.1.7 COMPACTAÇÃO DOS SOLOS	8
2.1.7.1 CURVA DE COMPACTAÇÃO	8
2.1.8 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA	9
2.1.9 LIMITES DE ACEITAÇÃO PARA PAVIMENTAÇÃO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	10
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS PARA PAVIMENTAÇÃO	10
2.2.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	11
2.2.2. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD.....	11
2.3 PAVIMENTAÇÃO	12
2.3.1 CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO	13
2.3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS	13
2.3.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PARA PAVIMENTAÇÃO	14
2.4 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)	15
CLASSIFICAÇÃO DOS RCC	16
COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO	16
APROVEITAMENTO DE RCC NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
PROCEDIMENTOS PARA CONCEPÇÃO DO AGREGADO DE RCC	17
REQUISITOS DE UTILIZAÇÃO DE RCC PARA PAVIMENTAÇÃO	18
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 DESENHO DO ESTUDO	19
3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	19
Localização do Solo Natural.....	19
Localização da Usina de Reciclagem	20
3.3 METODOLOGIA PARA COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO	21

3.4 METODOLOGIA PARA COLETA DE RCC	22
3.5 METODOLOGIA PARA DOSAGEM DAS MISTURAS	22
3.6 METODOLOGIA LABORATORIAL	22
3.7 METODOLOGIA PARA OS RESULTADOS.....	26
4 RESULTADOS	27
4.1 ESTUDOS REALIZADOS COM O RCC	27
Composição do RCC	27
GRANULOMETRIA DO RCC.....	29
CBR DO RCC.....	30
4.2 ESTUDOS REALIZADOS COM O SOLO NATURAL	31
GRANULOMETRIA SOLO NATURAL	31
LIMITES DE CONSISTÊNCIA DO SOLO NATURAL	32
COMPACTAÇÃO SOLO NATURAL	33
CLASSIFICAÇÃO DO SOLO NATURAL.....	33
CBR DO SOLO NATURAL	34
4.3 ESTUDOS REALIZADOS COM AS DOSAGENS DE RCC NO SOLO.....	35
GRANULOMETRIA DAS ADIÇÕES DE RCC.....	35
LIMITES DE CONSISTÊNCIA DAS ADIÇÕES DE RCC.....	36
COMPACTAÇÃO DAS ADIÇÕES DE RCC	37
CBR DAS ADIÇÕES DE RCC.....	38
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO DE ESTUDOS FUTUROS	40
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICE	45

1 INTRODUÇÃO

Um dos setores que contribui para o aumento de desempenho econômico do Brasil é a Construção Civil, esta indústria permite que a infraestrutura das cidades sejam desenvolvidas e edificações sejam erguidas. Estas e outras atividades do ramo são muito benéficas, entretanto geram acúmulos de Resíduos da Construção Civil (RCC), que sem o seu devido manejo acabam causando transtornos sociais e ambientais.

Os resíduos de construção são tratados como problemas em diversos países que não possuem plano para seu destino. Segundo pesquisas da (Abrelpe, 2011) mais de 31 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são produzidos no Brasil, um volume preocupante pois alguns estados não possuem destinação correta do material, ficando estes inertes em áreas de descarte (T. de P. Pinto, 1999). Na região Norte do país em 2012 foram coletados cerca de 1,2 milhões de toneladas de RCD, sendo que apenas 47,4% deste quantitativo obtiveram coleta seletiva (Abrelpe, 2012).

Palmas, a capital mais nova do Brasil têm sido foco de crescentes investimentos imobiliários e industriais, impulsionando cada vez mais empreendimentos da construção civil. Quanto mais a população desenvolve-se com o progresso da cidade, maior é a produção de RCC por novas edificações. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, no ano de 2016 a população de Palmas era de 279 mil habitantes e no ano de 2017 chegou a 286 mil habitantes, obtendo uma taxa de crescimento de 2,48%. Por este fato Palmas foi considerada a capital que mais cresce no país (Brasil, 2017).

Em 2014 uma pesquisa realizada no município apontou que de janeiro a março o volume de RCC despejado e aterrado sem nenhum processo de triagem em áreas licenciadas pela prefeitura era de aproximadamente 17.500 m³ (Bandeira, 2014). Esta grande produtividade de resíduos comprometem a qualidade de vida da sociedade, contaminam solos, rios, deixam o panorama urbano poluído e além disso são atrativos de vetores para epidemias.

A necessidade de dar um fim nobre para RCC e a escassez de recursos naturais têm feito com que pesquisas sejam voltadas para o uso na própria construção civil, o que tem propiciado novas alternativas como uso em soluções técnicas e construção de artefatos nas obras.

Uma técnica que pode reaproveitar o RCC é o melhoramento das características dos solos para pavimentação. Atualmente as técnicas consolidadas para este fim é a estabilização mecânica, adição de estabilizantes químicos industriais ou a estabilização granulométrica com exploração de recursos naturais de jazidas.

Desta forma o trabalho visa verificar o potencial na reutilização do material granular: proveniente da atividade da construção civil, o Resíduos de Construção Civil (RCC), como material alternativo para promover um melhoramento das características e desempenho do solo, e se o mesmo atende os limites necessários exigidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT). Obtendo resultados que comprovem sua eficácia, será muito benéfico para indústria construtiva podendo ter grandes impactos como por exemplo, na economia em serviços de terraplenagem, a partir da substituição da matéria-prima extraída das jazidas.

1.1 Problema de Pesquisa

Para se realizar obras de pavimentação, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) exige que sejam respeitadas as normas de procedimentos técnicos, visando qualidade, conforto e maior vida útil das estradas.

Alguns tipos de solos não se apresentam de forma adequada para seu uso como camadas estruturais para pavimentação, sendo necessário o melhoramento de características físicas e mecânicas, esse procedimento é citado pelo manual de pavimentação como estabilização. A estabilização de solos pode ser feita com materiais granulares, mecanicamente, com adição de estabilizantes químicos ou mesmo com a combinação destes.

Qual o potencial do Resíduo da Construção Civil reciclado misturado aos solos, objetivando sua estabilização para obter boa performance em camadas de pavimento?

1.2 Hipóteses

. O RCC pode apresentar se de forma satisfatória na melhoria do solo, quando dosado a um determinado teor, possibilitando assim seu uso na pavimentação e reduzindo a procura por jazidas e conseqüentemente a quantidade de serviços de terraplenagem.

Desta forma, se o rejeito for suficiente para atingir os limites mínimos exigidos pelo DNIT para pavimentação, será possível ter uma solução viável de modo técnico-econômico.

Caso contrário, se o material demonstrar ganhos insignificativos no quesito de melhorar o solo, será apenas uma solução para a destinação final do RCC.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Investigar através de estudos laboratoriais o comportamento e o potencial no aproveitamento de RCC na estabilização de solo para pavimentação.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Coletar os resíduos denominados pela ABNT como Classe A da construção civil gerados pelas atividades construtivas e de demolição em Palmas, Tocantins
- 2) Identificar os resíduos;
- 3) Caracterizar o solo natural, captados em jazida da cidade de Palmas;
- 4) Adicionar diferentes teores de RCC ao solo natural;
- 5) Verificar o comportamento mecânico de cada dosagens frente ao solo;
- 6) Realizar estudos comparativos do potencial das misturas e verificar se os mesmos atendem as exigências de norma para as camadas de pavimentação.

1.4 Justificativa

Este trabalho se justifica na necessidade de estudar novas formas de reciclagem de materiais inertes e induzir tanto a indústria da construção civil quanto a população para hábitos que contribuam com a redução e a reutilização de Resíduos da Construção Civil (RCC).

Instigar estudos relacionados ao aproveitamento de RCC que ainda são incipientes na sociedade acadêmica do município sendo esta prática essencial para um processo de transformação no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável, contribuindo assim para o equilíbrio e a harmonia com o meio ambiente.

Promover o autoconhecimento sobre os diversos assuntos abordados na pesquisa, permitindo que num futuro próximo sejam realizadas outras explorações bibliográficas referentes aos resultados obtidos nesta análise.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 SOLOS APLICADOS A ENGENHARIA CIVIL

Para a engenharia civil é essencial conhecer o solo em que será empregada a obra, as normas brasileiras recomendam uma análise detalhada das propriedades físicas e mecânicas para todos os tipos de projetos em que faz se necessário utilizar o solo como estrutura de suporte. No Brasil muitas obras são executadas sem nenhuma investigação, esse descuido têm provocado nas estruturas diversas manifestações patológicas ou em casos extremos a ruína.

Tendo em vista a importância de analisar os solos faz se indispensável ter o conhecimento de sua formação e composição. Sua formação se dá através da deterioração de rochas, que com o decorrer do tempo e fatores climáticos vão fragmentando se e gerando diversos tipos de solos. Os solos são compostos por componentes mineralógicos, matéria orgânica, a água como fração líquida e uma fração de ar, Pinto (2000). Cada solo possui suas características, são diferenciados principalmente pela constituição mineralógica, textura, granulometria e coloração NBR 6502 (1995).

2.1.1 ÍNDICES FÍSICOS DOS SOLOS

Os solos, na maioria das vezes apresentam-se na natureza como uma mistura heterogênea, ou seja, mais de um composto mineralógico, promovendo assim diferentes tipos de comportamento ao longo do seu perfil estrutural, o comportamento do solo é mensurado de acordo com o desenvolvimento dos agregados, que por sua vez dita a acomodação entre os grãos, podendo ser mensurado o índice de vazios, capacidade de absorção de água, a porosidade, o grau de expansão, peso específico aparente e o grau de saturação. De acordo com Caputo (1988) os índices físicos podem ser definidos como: Índices de Vazios, Umidade, Porosidade, Grau de Saturação, Grau de Compacidade, Peso Específico Aparente, Peso Específico Aparente seco e Peso Específico Aparente submerso.

2.1.2 CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS ATRAVÉS DE ENSAIOS

O Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), divide os solos em três tipos principais, granulometria grossa, fina e solos orgânicos. Porém os solos orgânicos não são interessantes para o fim deste estudo, pois como o nome diz, são constituídos de matéria em decomposição, possuem alto índice de deformação, não sendo indicado para construção civil.

Segundo a NBR 7250 (1982), solos grossos são as areias e pedregulhos, e solos finos são as argilas e os siltes.

Os solos arenosos são porosos e não coesivos onde as partículas de solo se encontram soltas, são extremamente permeáveis e deformáveis, pequenas pressões em sua superfície causam reajustamento de partículas. A areia é utilizada na engenharia civil para construção de drenos e traços de argamassas por exemplo.

Os solos argilosos são altamente coesivos, possuem baixa porosidade o que o torna altamente impermeável,

A caracterização é realizada através de ensaios granulométricos, índice de plasticidade, compacidade para solos grossos e consistência para solos finos.

2.1.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O ensaio Granulométrico é realizado afim de determinar a distribuição do tamanho dos grãos de solo, separando os conforme o seu diâmetro. De acordo com os resultados coletados, a curva granulométrica pode ser traçada, caracterizando assim o material. Por meio da curva granulométrica é estimado a quantidade correspondente a cada peneira em comparação ao peso total da massa seca.

Segundo a NBR 7181 (1984) o ensaio pode ser realizado de duas formas; por peneiramento ou pela associação de sedimentação com peneiramento.

Para solos grossos, solos com diâmetro maior ou igual a dois milímetros, é realizado o ensaio com sequências de peneiras sobrepostas, assim são agitadas simultaneamente. Em cada peneira onde o solo fica retido é pesado e registrado.

Para solos finos, solos como diâmetro menor que dois milímetros, após os procedimentos de preparação da amostra, o material é colocado entre as peneiras de diâmetros 2mm e 0,075mm, depois da agitação simultânea é pesado todo material retido em cada peneira encontrando a porcentagem individual em relação ao peso total seco.

Com os resultados destes ensaios é possível obter a curva granulométrica do solo e sua classificado dada pela NBR 7181 (1984) de acordo com o tamanho do grão:

- a) Bloco de rocha → diâmetro entre 200mm e 1,0m
- b) Pedregulho fino → diâmetro entre 2,0mm e 6,0mm
- c) Pedregulho médio → diâmetro entre 6,0mm e 20,0mm
- d) Pedregulho grosso diâmetro entre 20,0mm e 60,0mm

- e) Areia fina → diâmetro entre 0,06mm e 0,2mm
- f) Areia media → diâmetro entre 0,2mm e 0,6mm
- g) Areia grossa → entre 0,6mm e 2,0mm
- f) Silte → diâmetro entre 0,002mm e 0,06mm
- h) Argila → diâmetro menor que 0,002mm

Podem ser analisados também através da distribuição de graduação dos solos. Solos bem graduados apresentam coeficiente de curvatura entre 1 (um) e 3 (três), significa que as partículas tem granulação contínua, grãos de tamanho crescentes sem falha nas peneiras. Solos uniformemente graduado apresentam coeficiente de curvatura menor que 1 (um), significa que existem porcentagem alta de grãos de mesmo tamanho. Já os solos mal graduados possuem falhas de peneiras, essa descontinuidade acontece por insuficiência de finos entre partículas de diâmetro maiores, apresenta o coeficiente de curvatura é maior que 3 (três), Caputo (2006).

2.1.4 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

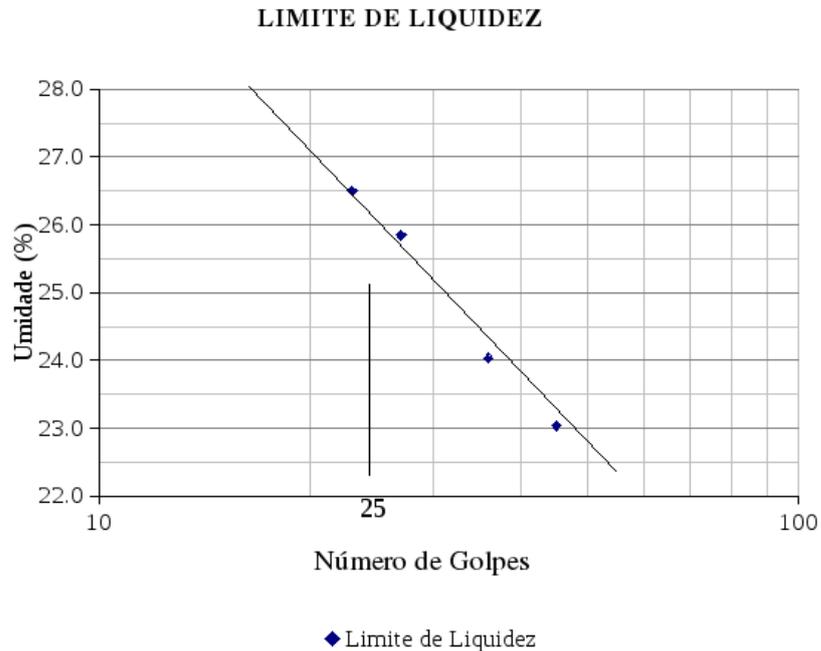
Segundo Caputo (1988) quando em presença de elevadas quantidades de água, o solo mostra se como um fluido, de acordo a água evapora o solo vai adquirindo consistência e perdendo sua liquidez, este momento se define como o Limite de Liquidez. Num determinado intervalo de perda de umidade o solo apresenta o Limite de Plasticidade, onde é moldado facilmente, o fim da plasticidade acontece quando o solo começa a apresentar se quebradiço a tentativas de dar forma a ele, esse exato momento é o Limite de Contração.

Cada solo se comporta de forma diferente quando úmido, isso depende diretamente porcentagem de argila no solo. De modo geral as argilas proporcionam a união entre as partículas, determinando assim para os diferentes tipos de solos um índice de consistência.

2.1.5 LIMITE DE LIQUIDEZ

O ensaio de limite de liquidez é regido pela NBR 6459 (1984), ao qual apresenta procedimentos para sua realização. A determinação do limite de liquidez é feita com o instrumento de Casagrande, são realizadas variações de umidade até atingir a umidade que após 25 golpes realizados com a rotação da manivela fecha a ranhura no solo feito com o cinzel. Com o número de golpes em relação ao teor de umidade, constrói-se o gráfico de LL e assim é encontrado o valor da umidade quando atinge 25 golpes.

Gráfico 1: Determinação de umidade ótima



Fonte: Do autor, 2018.

2.1.6 LIMITE DE PLASTICIDADE

Para encontrar o índice de plasticidade do solo, que é o ponto em que o solo se encontra em estado plástico, é preciso determinar o limite de plasticidade, onde o solo passa de plástico para sólido. A NBR 7180, (1984) é possível mensurar este limite.

Quanto maior o índice de plasticidade, mais argila possui a amostra, quanto menor, mais areia possui a amostra, pelo fato de terem características não coesivas (Caputo, 1988).

Conforme o valor do índice de plasticidade do solo a NBR 7184 classifica-o como:

- a) fracamente plásticos $\rightarrow 1 < IP < 7$
- b) medianamente plásticos $\rightarrow 7 < IP < 15$
- c) altamente plásticos $\rightarrow IP > 15$

Onde o índice de plasticidade pode ser calculado pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, como demonstra a fórmula a seguir:

$$IP = LL - LP$$

Onde:

LL = limite de liquidez em %;

LP = limite de plasticidade em %.

2.1.7 COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

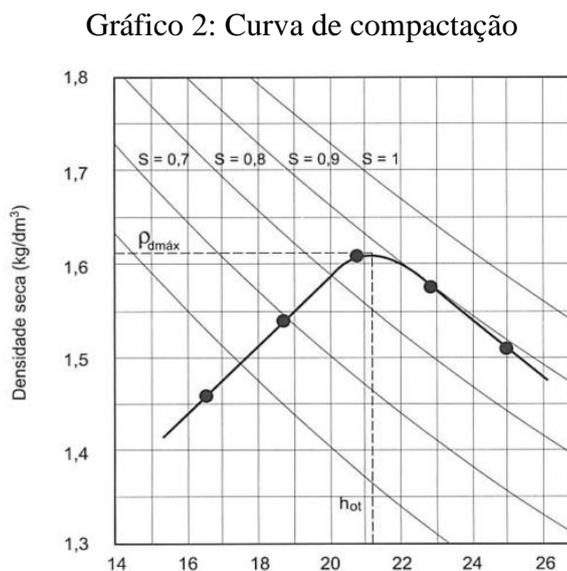
Segundo Caputo (2006) a compactação de um solo consiste em aplicar uma determinada força de energia podendo ela ser mecânica ou manual, na superfície de forma a diminuir o volume de vazios entre os grãos, aumentando sua rigidez, elevando a resistência e compressibilidade, e diminuindo a entrada de água no solo. A compactação é efetuada em obras de engenharia como aterros em geral, camadas para pavimentação, barragens de terra, muros de arrimo, em valas, afim de reduzir ao máximo o recalque e a movimentação nas estruturas, aumentando a vida útil das mesmas.

Proctor, o responsável por iniciar as técnicas de compactação em 1933, concluiu em suas observações que a umidade do solo influencia diretamente nos resultados de compressibilidade. Diz que a umidade ótima para compactação é aquela que cada solo necessita para aumentar sua massa específica aparente seca, geralmente fica próxima e anterior ao limite de plasticidade (Caputo, 1988).

A NBR 7182, (1986) padroniza ensaio de compressão sugerindo opções de métodos de execução, após sua execução é possível traçar o gráfico da curva de compactação.

2.1.7.1 CURVA DE COMPACTAÇÃO

A curva de compactação é feita através dos valores da umidade (h) na abscissa e a massa específica aparente seca na ordenada. A umidade ótima corresponde a ordenada máxima da curva.



Fonte: Caputo (2006)

Segundo Caputo (1988) os solos têm um comportamento típico de alguns e podem ser classificados pela sua densidade seca e umidade ótima, a seguir discorre os parâmetros:

Solos argilosos → baixa densidade seca de 1,4 a 1,5 kg/dm³ e alta umidade ótima de 25% a 30%;

Areias finas argilosas (areias mal graduadas) → densidade máxima seca de 1,9 kg/dm³ e alta umidade ótima de 12% a 14%;

Areias com pedregulhos bem graduadas e com pouca argila → alta densidade seca da ordem de 2 a 2,1 kg/dm³ e baixa umidade ótima aproximadamente 9 a 10%;

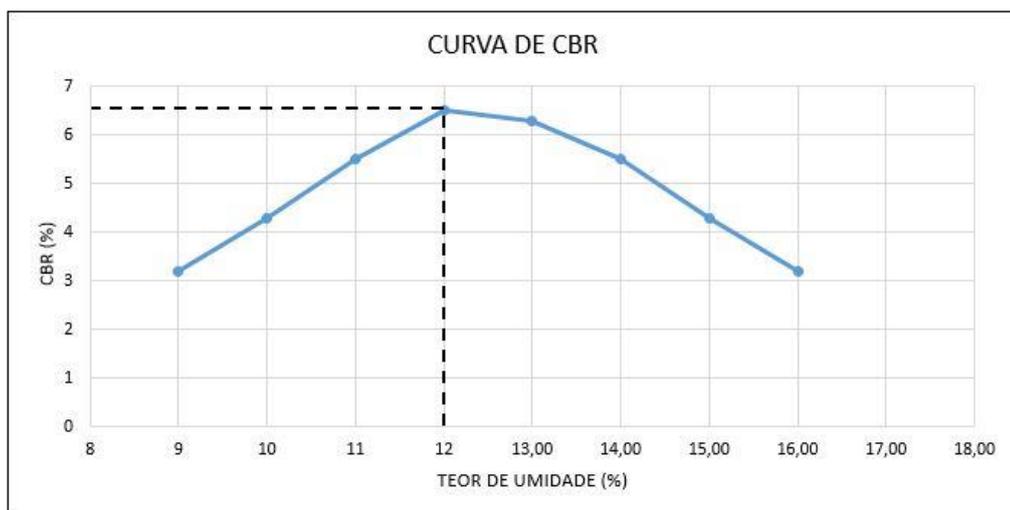
Solos Sitosos → apresentam densidade e umidade baixa com curva de compactação abatida.

2.1.8 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

A determinação do índice de suporte Califórnia (ISC) ou como é conhecido no Brasil, California Bearing Ratio (CBR), é obtida através de ensaios laboratoriais ou “in situ” para quantificar o potencial de afundamento do solo quando submetido a pressão de penetração em relação a outra amostra de solo britada assim determinada pelo DNER – ME 049/94.

O ensaio possibilita também encontrar a expansividade do solo após a imersão dos corpos de provas num período de 96 horas, devendo ser realizada leituras no extensômetro a cada período de 24 horas.

Gráfico 3: Curva de CBR



Fonte: Do autor, 2018

2.1.9 LIMITES DE ACEITAÇÃO PARA PAVIMENTAÇÃO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

O DNIT recomenda que para que um material seja utilizados nas camadas de pavimentação é necessário que atenda os seguintes limites de aceitação:

Compactação

- Para solos grossos deve ser empregado a energia de compactação do Proctor modificado.

Limite de plasticidade

- Valores até 6%
- Pode ser utilizado como Base apresentando valores maiores a 6%, quando as outras condições de CBR e expansão forem atendidas.

Limite de Liquidez

- Valores menores ou igual a 25%
- Pode ser utilizado como Base apresentando valores maiores a 25%, quando as outras condições de CBR e expansão forem atendidas.

Índice de Suporte Califórnia

Quadro 1: Limites de CBR para camadas de Pavimentação

Camada	CBR	Expansão
Subleito	$\geq 2\%$	$\leq 2\%$
Reforço do Subleito	$> \text{CBR do subleito}$	$\leq 2\%$
Sub-base	$\geq 20\%$	$\leq 2\%$
Base	$\geq 80\%$	$\leq 0,5\%$

Fonte: Manual de Pavimentação DNIT, 2006

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Os solos por sua grande variedade necessitam ser classificados e divididos em grupos conforme suas propriedades, de maneira a atender as necessidades de projetos para cada tipo de obra. Para pavimentação existem os seguintes sistemas de classificação: Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e Transportation Research Board (TRB) (DNIT,2006).

2.2.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Este sistema classificação identifica os solos com base nas suas qualidades de plasticidade e de textura, é utilizado em obra de estradas, aeroportos fundações e aterros.

Quadro 2: Classificação (SUCS)

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração gráuda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração gráuda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50	ML	Siltos inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.	
		OL	Siltos orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.	
	SILTES e ARGILAS com LL > 50	MH	Siltos - Areias finas ou siltos micáceos - Siltos elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.

Fonte: (DNIT, 2006)

2.2.2. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD

Nesta classificação os solos são subdivididos conforme a granulometria, limite de consistência e do índice do grupo, relacionando seu uso para pavimentação, como mostra a tabela a seguir:

Quadro 3: Classificação TRB

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia		Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

Fonte: (DNIT, 2006)

2.3 PAVIMENTAÇÃO

A função da pavimentação é dar conforto e segurança para quem utiliza, a mesma deve garantir uma superfície regularizada que possibilite uma maior mobilidade, boa aderência aos pneumáticos reduzindo os riscos de derrapagens, minimizar os ruídos e economizar tempo de viagens. Para garantir a qualidade do pavimento é necessário que as camadas constituintes de função estrutural, resistam as pressões advindas do contatos dos pneus dos veículos (SENÇO, 1997).

Como o pavimento é constituído por material de Resistências e deformabilidades diferentes, no processo para implantação do pavimento o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) recomenda que sejam feitos estudos para caracterizar as camadas de subleito utilizando todos os ensaios abordados nesta pesquisa, como Análise Granulométrica, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Compactação e Índice de Suporte Califórnia.

2.3.1 CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO

As camadas constituintes da pavimentação são o subleito, regularização do subleito, reforço do subleito, sub-base e base.

Subleito é a camada de fundação onde o pavimento se apoia, este deve ser analisado até onde atuam os bulbos de dissipação das cargas atuantes do tráfego.

Regularização do subleito é a camada que permite o alinhamento do subleito em níveis e a retirada da camada vegetal.

Reforço do Subleito é a camada que visa dar suporte ao subleito que possui deficiência de resistência mecânica abaixo da carga solicitante.

Sub-base é a camada subjacente da base, onde por questões econômicas não é viável construir sobre a regularização do subleito, devendo esta ser de qualidade e características tecnológicas superior ao de suporte.

Base é a camada subjacente ao revestimento é a camada que demanda maior resistência a esforços verticais, sendo responsável por distribuí-los nas camadas inferiores.

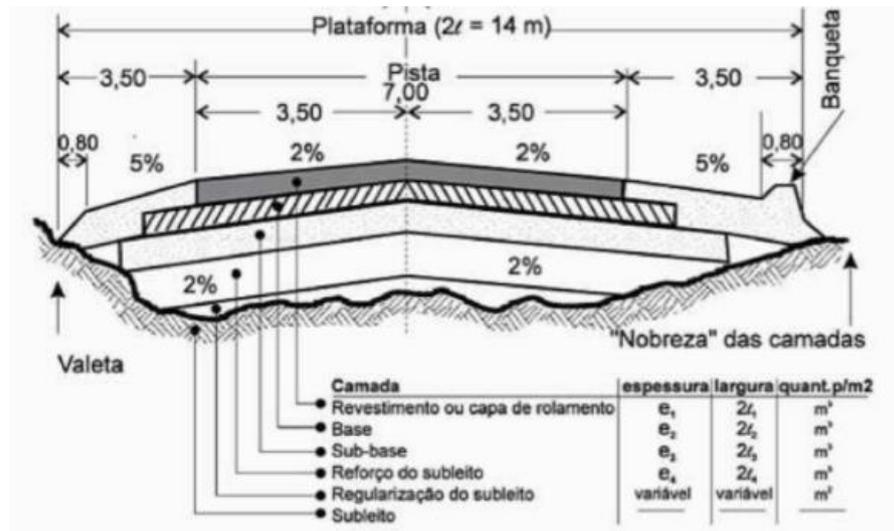
2.3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

O manual de pavimentação do DNIT classifica os pavimentos como Flexível, Semi-Flexível e Rígido.

FLEXÍVEL

Pavimentação flexível é aquela que quando recebe cargas advindas do tráfego permite limitadas deformações elásticas, onde vão se dissipando de forma gradual entre as camadas subjacentes ao revestimento, por exemplo pavimento formado por base de brita graduada (SENÇO, 1997).

Figura 1: Seção transversal de Pavimento Flexível



Fonte: (SENÇO, 1997).

SEMI-FLEXÍVEL

Pavimentação semi-flexível é caracterizada pela formação de uma base cimentada por aglutinante e revestida com elemento betuminoso (DNIT,2006).

2.3.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PARA PAVIMENTAÇÃO

A estabilização de solos é compreendida como um melhoramento das características físicas e mecânicas, onde é feita intervenções de acordo com a demanda de projeto. Nem sempre o solo encontrado na natureza atende as solicitações e especificações, em alguns casos é necessário retirar a camada de solo ruim e substituir por outro de características e qualidade maior (MEDINA, 1997).

A escolha do tipo de estabilização a ser realizada deve ser de forma técnica e econômica, para isto é necessário aprofundar conhecimentos sobre as propriedades disponíveis do solo, o uso que o solo receberá e os limites de aceitação para a execução do projeto. Na atualidade existem diversos tipos de estabilizantes, podendo este ser com adição de um ou a união de vários aditivos químicos, com a compactação do solo e também com a correção granulométrica ou mesmo a combinação dos métodos (BATISTA, 1976).

ESTABILIZAÇÃO MECÂNICA

O método mais utilizado na construção de estradas, trata se de alterar as frações solidas, liquidas e gasosas. Pode ser realizada pela energia de compactação onde permite o

rearranjo das partículas ou granulométrica. A estabilização granulométrica é realizada apenas pela matéria prima granular, visa corrigir a descontinuidade e preencher vazios de grãos ausentes, pode ser feita com a mistura de um ou mais solos em frações adequadas para obter um produto homogêneo, bem graduado e logo após a compactação para aumentar o contato entre os grãos, dando maior resistência mecânica (VILLIBOR, 1982).

ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA

Quando um solo é submetido a estabilização química, sua estrutura é modificada, tornando se mais resistente mecanicamente, permeável e compressível do que o solo originário; esta estabilização é feita com a incorporação de aditivos químicos no solo, que reagem entre si promovendo uma umidade ótima para a compactação, propiciando o fechamento dos poros e como consequência melhorando suas propriedades físicas e mecânicas exigida para o seu devido fim. Para realizar uma boa estabilização química é necessário saber o que a combinação entre os componentes minerais do solo e o estabilizador formarão, os estabilizantes podem ser de origem cimentícia, produtos industriais ou betuminosos (MAKUSA, 2013; MEDINA, 1987).

ESTABILIZAÇÃO COM RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A NBR 15115 (2004) estabelece alguns critérios de utilização dos resíduos para camadas de pavimentação, como por exemplo: deve ser usados somente resíduos classificados como classe A conforme regula a Resolução de número 207 do CONAMA, também devem ser observados a granulometria do RCC, o limite máximo passante nas peneiras, o CBR e a Expansão do material. Conforme os resultados é possível afirmar qual camada pode ser empregado o resíduo.

2.4 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

Os RCCs são definidos pela Resolução Conama nº 307/2002 (Ministério do Meio Ambiente, 2002), como materiais originados de construções civis, reformas, ampliações, restaurações, demolições e escavações. Estas atividades são provenientes de obras de edificações, pavimentação de estradas, obras de arte, tuneis, instalações prediais, saneamento, aeroportos e serviços de obras geotécnicas (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - MEC, n.d.).

A construção civil têm potencial para consumir quase todo resíduo que produz, sendo estimado em 83% de acordo com a capacidade de reciclagem, sendo que destes, 38% são

descartes de tijolos cerâmicos, 15% de blocos de concreto, 20% de solos, 2% madeiras e metais e 8% de materiais classificados como outros (BERNARDES, A. 2006).

CLASSIFICAÇÃO DOS RCC

De acordo com Resolução Conama nº 307/2002 do ministério do meio ambiente, os resíduos podem ser classificados como: Classe A, B, C e D.

Os resíduos Classe A são resíduos que podem ser reutilizados como agregado, como por exemplo: componentes cerâmicos, blocos de concreto, tijolos, argamassa, telhas, tubulações etc.

Classe B são os resíduos recicláveis que podem ter aplicações diversas, tais como: plástico, metais, vidros, madeira e gesso.

Classe C são resíduos que ainda não possuem tecnologias viáveis para tornar possível sua recuperação.

Classe D são resíduos perigoso que provêm do andamento construtivo como, impermeabilizantes, solventes, soluções oleosas e materiais contaminados que prejudicam a saúde, como o amianto.

COMPOSIÇÃO DOS RESIDUOS DE CONSTRUÇÃO

Os materiais que compõem os resíduos são variáveis de acordo com cada país, dependendo dos métodos construtivos que é adotado, da disponibilidade de insumos e também do nível de tecnologias acessíveis (FARIAS, 2014), como por exemplo, nos Estados Unidos (EUA) o método construtivo predominante é o Wood Frame, onde a madeira é o principal insumo. No Brasil destaca se o sistema convencional que é constituído por lajes, vigas e pilares de concreto armado como estrutura e alvenaria como elemento de vedação (Vasques & Pizzo, 2014).

A composição do produto do RCC britado para utilização como agregados, é feita por materiais classificados como classe A. Como não existe padronização de porcentagens de quantidade dos materiais presentes na mistura, o material torna-se inconstante, sendo feito de acordo com o que se possui no canteiro de reciclagem.

APROVEITAMENTO DE RCC NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os materiais reciclados do tipo classe A segundo a classificação da ABNT, podem ser aproveitados em obras de pavimentação, drenagem, fabricação de blocos de concreto,

calçadas, revestimentos, meio fio, substitui a areia usada para fazer argamassas entre outros, sendo que destes o mais usual é o emprego como agregado na pavimentação, podendo ter ótimo desempenho nas camadas de sub-base, base e revestimento superficial (Lima, 1999).

O fato do material reciclado possuir uma variedade grande de insumos em sua composição, torna suas características diferentes dos agregados convencionais, o desempenho do produto depende das porcentagens dos tipos de resíduos, em alguns casos para atender as exigências de projeto é necessário adotar outras medidas, como estabilização granulométrica ou química (PINTO, 1989).

A falta de especificações e controle rígido sobre a fabricação do agregado torna-o desfavorável ao seu uso, criando certo preconceito por parte dos profissionais e usuários. É necessário que se faça um investigação laboratorial sobre as suas propriedades expansivas e mecânicas (Lima, 1999).

PROCEDIMENTOS PARA CONCEPÇÃO DO AGREGADO DE RCC

Após a retirada dos RCCs dos canteiros de obra por meio de containers ou caminhões, os mesmos são encaminhados aos aterros de reciclagem; os materiais passam pelo processo de triagem e logo após vão para o processamento em britadores.

TRIAGEM

A Recicladora recebe apenas os resíduos sólidos gerados por empresas de Construção Civil e também de pessoas físicas locais. Os resíduos são transportados até a recicladora através de caçambas e containers, onde é feita uma inspeção preliminar para saber se os rejeitos são provenientes da construção civil. Logo após são despejados em uma determinada área para o início da triagem, que é a separação dos rejeito de classe A, B, C e D, conforme indica a resolução de nº 307/2002 do CONAMA. Segundo a (NBR 15114, 2004), o gerador deve fazer a separação primária dos rejeitos antes de levar para a zona de reciclagem, o que na realidade não acontece na cidade de Palmas, Tocantins.

BRITAGEM

O primeiro procedimento para a fragmentação do resíduo é a britagem; a mesma pode ser feita com britadores usados pelo setor de mineração, por britadores moveis, britadores de impacto, britadores de mandíbula e moinhos de martelo, podendo ser realizado com um ou mais britadores o que determina a quantidade de vezes que o material é britado é o tamanho

da partícula desejada, podendo ser utilizado como brita, pó de brita, bica-corrída para pavimentação e areia para artefatos de concreto (LIMA, 1999).

REQUISITOS DE UTILIZAÇÃO DE RCC PARA PAVIMENTAÇÃO

A NBR 15115, 2004 recomenda que para agregados reciclados é necessário que se atenda as seguintes exigências:

- a) Não deve existir materiais orgânicos ou classificados como B, C, e D;
- b) Apresentar curva granulométrica bem graduada e não uniforme obtida pelo ensaio da NBR7181
- c) Os grãos que passam na peneira 0,42mm devem ficar na faixa de 10% a 40%
- d) O índice de suporte Califórnia dos agregados deve ser obtido através do ensaio da NBR 9895 com compactação normal, indicando onde poderá ser empregado nas camadas respeitando as exigências:
- e) Materiais que não atendam às exigências, realizar a estabilização granulométrica de acordo com a NBR 11804, ou estabilização com cimento ou cal, devem apresentar resistência de compressão simples de 2,1 Mpa após 7 dias de cura;
- f) A massa de grãos lamelares, obtida conforme NBR 7809, não devem ultrapassar 30%;
- g) Tamanho máximo dos grãos: 63,5mm
- h) Massa de materiais não pertencentes a classe A: máximo de 3%;
- i) Massa de materiais indesejáveis pertencentes a classe A: máximo de 2%;
- j) Materiais prejudiciais ao meio ambiente ou operador não são permitidos.

Quadro 4: Limite de CBR e Expansão do reciclado para camadas de pavimento

Camada	CBR	Expansão	Energia de Compactação
Reforço do Subleito	$\geq 12\%$	$\leq 1\%$	Normal
Sub-base	$\geq 20\%$	$\leq 1\%$	Normal
Base	$\geq 60\%$	$\leq 0,5\%$	Intermediária

Fonte: (NBR 15115, 2004)

3 METODOLOGIA

3.1 DESENHO DO ESTUDO

Esta pesquisa denomina-se como de natureza quali-quantitativa. Os procedimentos metodológicos adotados foram de pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Quanto à realização da pesquisa bibliográfica, foi realizada com o auxílio de livros, monografias de especializações e normas técnicas.

A seguir serão descritas a metodologia adotada para a realização deste projeto de pesquisa, como: a coleta de solo referência, coleta de RCC, ensaios laboratoriais, e tratamento de dados.

3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

O período de realização deste trabalho se deu no segundo semestre do ano de 2018, nos meses que corresponde de agosto a outubro.

Localização do Solo Natural

Para a análise proposta por este trabalho, o solo referência foi coletado em jazida da cidade de Palmas - TO, onde encontra-se na Avenida LO 11 na quadra 409 sul sentido Leste.

Coordenadas: LATITUDE 10°12'40.53"S

LONGITUDE 48°21'29.34"O

Figura 2: Localização via satélite do Solo Natural



Fonte: Google Earth, Novembro 2018

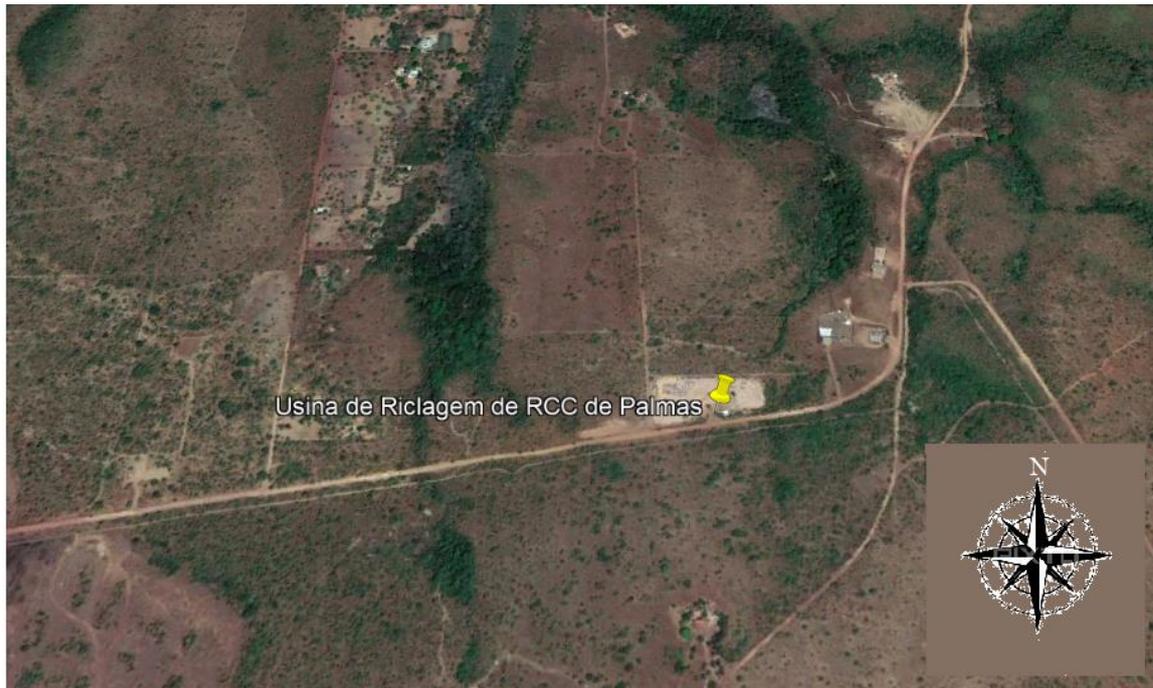
Localização da Usina de Reciclagem

O material de rejeito (RCC), foi fornecido pela Empresa Ambiental, localizada na chácara N°50 – Loteamento de Chácaras de Recreio, na cidade de Palmas - TO. Na imagem a seguir consta a localização da usina de reciclagem via satélite.

Coordenadas: LATITUDE 10°13'26.64"S

LONGITUDE 48°17'14.15"O

Figura 3: Localização via satélite da Usina de Reciclagem de RCC de Palmas



Fonte: Google Earth, Setembro 2018.

3.3 Metodologia para Coleta de Amostras de Solo

A amostra foi coletada na cidade de Palmas, no estado do Tocantins, sendo necessário um tipo de solo com características de baixa resistência para que seja avaliado seu comportamento diante do agregado de Resíduo da Construção Civil. Cerca de 125 quilos de solo foram retirados, para isso o solo foi identificado segundo o Manual de Pavimentação se refere: Com Teste visual, Teste do tato, Teste de dilatância e Teste de resistência.

Teste visual consistiu em identificar de forma visual a cor, o tamanho, forma e constituição mineralógica granular.

Teste do Tato consistiu em identificar o solo através da sua fricção entre os dedos, o solo apresentou-se ásperos, o que indica que têm predominância de areia.

Teste da Dilatância consistiu em colocar uma pasta úmida de solo em uma mão e bater rapidamente com a outra, até o surgimento de água na superfície, a água manifestou-se na superfície do solo, esta reação caracterizou o solo como arenoso.

Teste de Resistencia Seca consistiu na desagregação da amostra de solo seca através da pressão com os dedos, o solo desagregou facilmente, caracterizando-o como arenoso.

Ferramentas necessárias para a coleta das amostras de solo:

- 1) Sacos Plásticos para armazenamento do solo até o laboratório
- Pá manual para retirada do solo

2) Máquina Fotográfica para o registro das atividades

O procedimento de coleta foi realizado conforme a NBR 6457 (1986) recomenda para preparação de ensaios de compactação e ensaios de caracterização. A amostra foi encaminhada ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) dentro do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP para o início dos ensaios.

3.4 METODOLOGIA PARA COLETA DE RCC

O RCC foi adquirido na (Ambiental) Usina de Reciclagem de Entulhos - RCC, localizada na cidade de Palmas, Tocantins. O material coletado recebeu a triagem, que é a separação dos resíduos de classificação A pela Resolução do CONAMA, e logo após, a britagem para a transformação do resíduo em agregado. Durante o processo de britagem, foram coletados cerca de 50 quilos de RCC com granulação fina para a adição dos teores e cerca de 2 quilos de RCC com granulação graúda para a identificação da composição dos resíduos constituintes do material. Os resíduos foram armazenados em sacos plásticos e transportados para o (LMS) do CEULP, onde posteriormente foram realizados os procedimentos para os ensaios laboratoriais.

3.5 METODOLOGIA PARA DOSAGEM DAS MISTURAS

Mistura de Solo-RCC

Nesta etapa a dosagem será feita em porcentagem de massa com 5%, 10%, 15% e 20% de adição de rejeito ao solo natural. Esta definição de dosagem foi baseada no trabalho realizado por PAIVA, Pollyanna Zenaide no “Estudo da reciclagem de Resíduos de Construção Civil como Material Alternativo na Estabilização de Solo para Pavimentação” (2018), a proposta do seu trabalho foi utilizar os teores de 10% e 20%.

Inicialmente para atingir a proposta deste trabalho, foi realizado os ensaios com os teores de 10% e 20% porém, como os resultados obtidos não foram suficientes para se obter uma conclusão substancial, houve a necessidade de adicionar novos teores para identificar qual teria o melhor resultado diante do solo referência.

3.6 METODOLOGIA LABORATORIAL

Os procedimentos de laboratório serão executados de acordo com as Normas da ABNT e DNIT, seguindo a seguinte sequência apresentada pela tabela a seguir:

Tabela 1: Ensaio com o tipo de material e norma pertinente

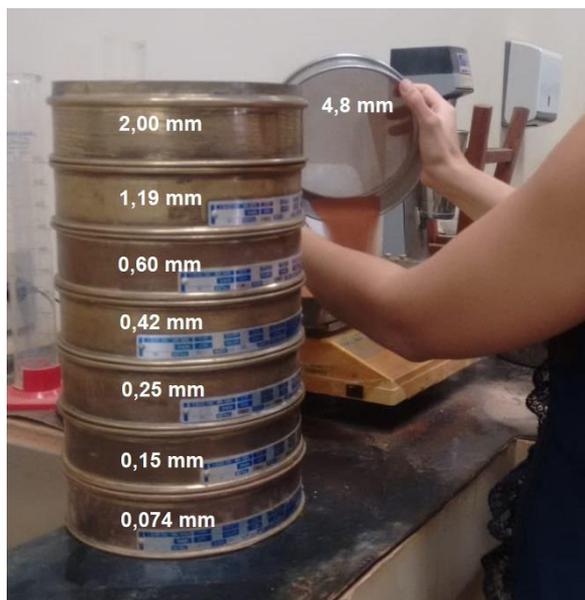
ENSAIO	MATERIAL	NORMA
Granulometria	Solo natural, RCC, Solo-RCC	NBR 7181/1984
Limite de Liquidez	Solo natural	NBR 6459/2004
Limite de Plasticidade	Solo natural	NBR 7180/2004
Compactação (Proctor Normal)	Solo natural, solo-RCC	NBR 7182
CBR	Solo natural, solo-RCC	DNIT 049/2014 –ME

Fonte: do Autor, 2018

Granulometria

O ensaio granulométrico das amostras citadas na tabela 5, foi realizado conforme a NBR 7181/1984, onde foi utilizado o método por peneiramento usando as peneiras 4,8mm, 2,0mm, 1,19mm, 0,60mm, 0,42mm, 0,25mm, 0,15 e 0,074mm. Para o ensaio foi necessário 1000g de material, lavado na peneira 0,074mm para a retirada dos finos e secado em estufa.

Figura 4: Ensaio Granulométrico com as aberturas de peneiras



Fonte: Do autor, 2018.

Limites de Atterberg

O ensaio consiste em moldar o solo no equipamento de Casagrande, fazer uma fenda partindo o solo com o cinzel, girar a manivela e verificar quantos golpes são necessários para fechar a abertura, repete este procedimento cinco vezes com adicionando agua na amostra. Com os valores obtidos (número de golpes para fechar a abertura feita na amostra e as umidades correspondentes) traça-se a linha de escoamento do material, a qual no intervalo compreendido entre 6 e 35 golpes, pode considerar-se como uma reta.

O limite de plasticidade é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro modelo de 3 mm de diâmetro e aproximadamente 10 cm de comprimento.

Figura 5: Ensaio de Limite de Plasticidade e Liquidez



Fonte: Do autor, 2018.

Compactação

O ensaio foi realizado junto a NBR 7182, onde o método utilizado é com energia de compactação com o Proctor normal. Foram compactados as amostras no molde cilíndrico grande em três camadas iguais, cada uma das camadas sendo aplicado 12 golpes distribuídos de forma uniforme sobre a superfície das camadas, com soquete caindo a uma altura aproximadamente de 30 cm, aplainou-se a superfície do material a uma altura do próprio molde e pesou-se o conjunto cilindro com o solo úmido compactado.

Após a compactação da amostra dos 05 cilindros, imergiu-se os três cilindros seja umidade seca, umidade ótima e umidade saturada com o corpo de prova e colocado uma sobrecarga, permanecendo imerso no tanque durante 96 horas.

Figura 6: Execução do ensaio de compactação



Fonte: Do autor, 2018.

CBR

Após 96 horas do ensaio de compactação com Proctor normal, foi realizado o ensaio de CBR das amostras com a umidade ótima, seca e saturada, onde foram medidas as resistências à penetração de cada uma delas, mediante o puncionamento na face superior da amostra através do pistão, sob uma velocidade de penetração.

A deformação foi medida por meio do defletômetro (com sensibilidade de 0,01 mm) fixo no pistão e apoiado no cilindro do recipiente da amostra. Com a velocidade de penetração, a correspondência entre as deformações e os tempos de 0:30 min, 1:00 min, 1:30min 2:00 min, 3:00 min, 4min e 5 min.

Figura 7: Execução do Ensaio de CBR



Fonte: Do autor, 2018.

3.7 METOLOGIA PARA OS RESULTADOS

Para os resultados foram utilizadas as seguintes normas e ferramenta computacional:

- Classificação granulométrica, pelo Sistema Unificados de Classificação dos Solos (SUCS) e também por (Caputo, 1986) ;
- Gráficos e Tabelas, realizados pelo software (Excel);
- Análise do RCC junto a NBR15115/2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação
- Análise dos resultados com o Manual de Pavimentação do DNIT

4 RESULTADOS

4.1 ESTUDOS REALIZADOS COM O RCC

Composição do RCC

A constituição do RCC foi avaliada de forma visual e separação em grupos por catação, onde foi possível identificar características de: concreto, alvenaria, azulejos, solo, vidro, mármore, granito, brita, seixo e gesso.

Observa-se que no agregado produzido na Usina de Reciclagem de Palmas, possui materiais de classe A e também os que são classificados como classe B como o gesso e o vidro. A (NBR 15115, 2004) recomenda que para agregados reciclados, somente os de classificação A podem ser reutilizados para pavimentação, porém pode haver no máximo de 3% de massa de materiais não pertencentes a classe A, conforme demonstrado no gráfico 4 de porcentagem de massas, o gesso e o vidro representaram mais de 4% da amostra, não cumprindo a norma neste quesito. A figura 8 mostra os elementos identificados na inspeção visual, é importante salientar que as massas de cada componente não tem valor representativo da amostra, apenas para efeito visual os agregados de RCC foram selecionados, lavados e organizados em grupos.

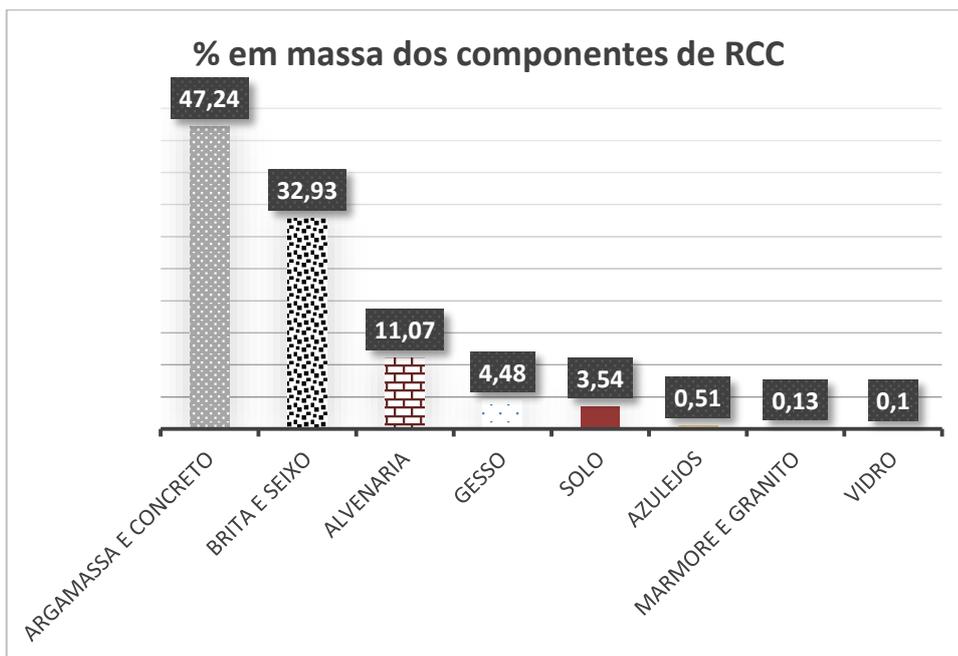
Figura 8: Componentes presentes no agregado de RCC



Fonte: Do autor, 2018.

Com uma amostra de 1000g foi realizado o percentual em massa dos componentes presentes no RCC, onde foram separado por catação. Pode-se observar no gráfico 4 que o concreto, possui a maior massa percentual com valor de 47,24% seguido da brita e o seixo com 32,93%, alvenaria com 11,07%, o gesso com 4,48%, solo com 3,54% e os outros tiveram percentuais abaixo de 1%.

Gráfico 4: Porcentual em massa dos componentes do RCC



Fonte: Do autor, 2018.

Tabela 2: Massa de cada componente da amostra de RCC

Componentes do Resíduo	Massa (g)	%
Argamassa e Concreto	472,4	47,24
Brita e Seixo	329,3	32,93
Alvenaria	110,7	11,07
Gesso	44,8	4,48
Solo	35,4	3,54
Azulejos	5,1	0,51
Marmore e Granito	1,3	0,13
Vidro	1	0,1
TOTAL	1000	100

Fonte: Do autor, 2018.

GRANULOMETRIA DO RCC

O ensaio granulométrico com o material de rejeito foi realizado conforme a (NBR 7181,2004) indica, na tabela 3 é possível observar que a massa retida na peneira 0,074mm é maior que 50% e a fração graúda passante da peneira 4,8mm é maior que 50%, o material foi classificado pelo SUCS como SW (areia bem graduada com poucos finos), pois seu coeficiente de curvatura é 1,02, significa que o comportamento desta areia é bem graduada, onde o limite para esta classificação fica entre 1 e 3, as partículas tem granulação continua, grãos de tamanho crescentes sem falha nas peneiras, cumprindo NBR 15115, 2004 onde recomenda que para agregados reciclados é necessário que se com o material de rejeito apresente curva granulométrica bem graduada e não uniforme.

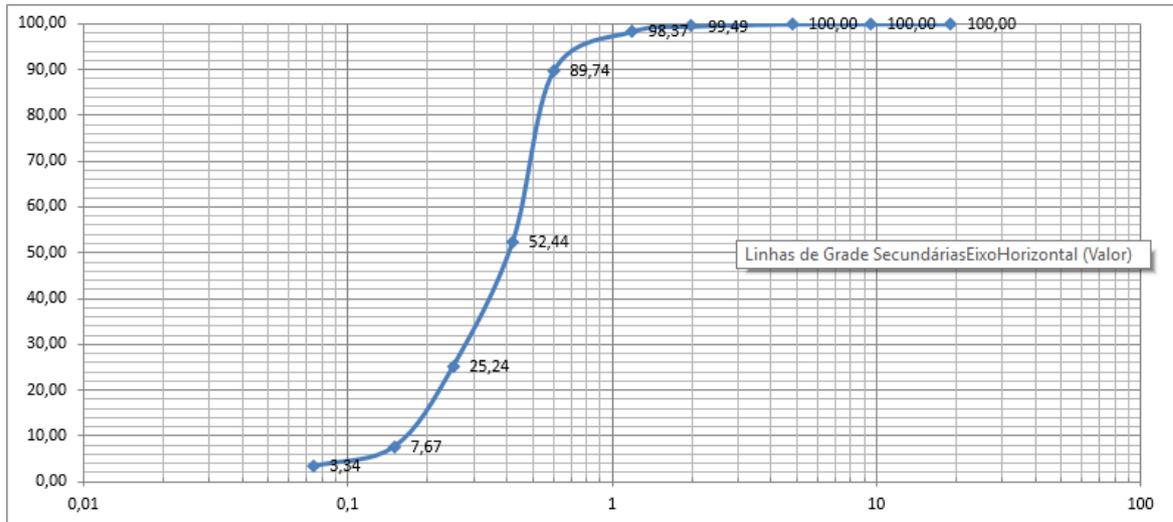
A NBR 15115, 2004, também recomenda que os grãos que passam na peneira 0,42mm fiquem na faixa de 10% a 40%, no material analisado, 52% do material passou na peneira 0,42mm ou seja o material possui excesso de grão mais finos que 0,42mm, não cumprindo a norma neste quesito.

Tabela 3: Análise Granulométrica do RCC

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181				
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
19,1		0,00	0,00	100,00
9,5		0,00	0,00	100,00
4,8	0	0,00	0,00	100,00
2	4,8	0,51	0,51	99,49
1,19	10,6	1,12	1,63	98,37
0,6	81,5	8,63	10,26	89,74
0,42	352,2	37,30	47,56	52,44
0,25	256,8	27,20	74,76	25,24
0,15	165,9	17,57	92,33	7,67
0,074	40,9	4,33	96,66	3,34
< 0,074	31,5	3,34	100,00	0,00
Σ	944,2	100,00		

Fonte: Do autor, 2018.

Gráfico 5: Curva Granulométrica do RCC

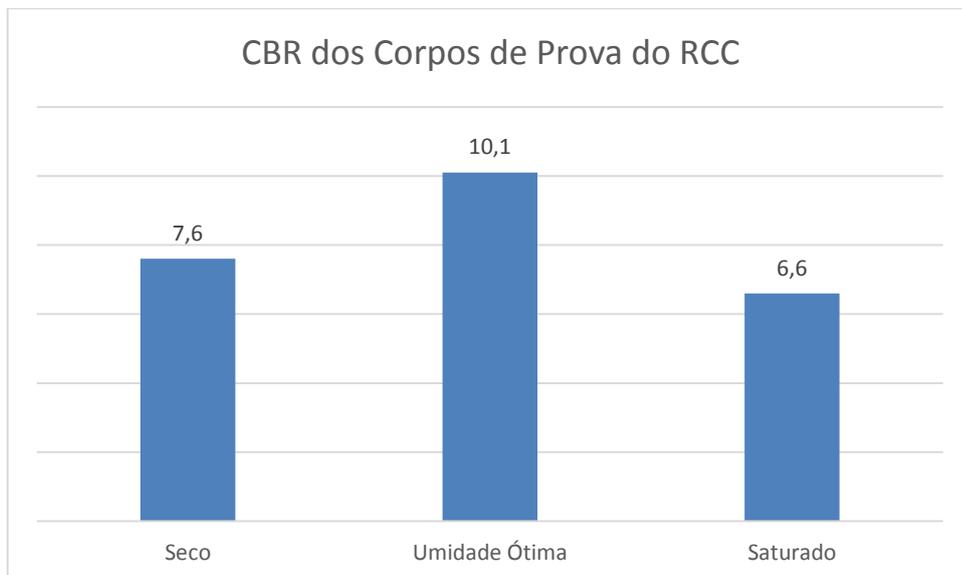


Fonte: Do autor, 2018.

CBR DO RCC

O índice de suporte Califórnia do agregado de RCC foi obtido conforme o ensaio da NBR 9895 recomenda, com energia de compactação com Proctor normal. Conforme o gráfico 6 apresenta, o melhor resultado para o CBR foi o corpo de prova com a umidade ótima, onde o RCC apresentou o valor de 10,1%. Com isto pode se observar que o RCC não possui CBR suficiente conforme diz a (NBR 15115, 2004) para execução de camadas de pavimentação com agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil, onde o limite mínimo é de 12% para fazer reforço do subleito.

Gráfico 6: CBR do RCC



Fonte: Do autor, 2018.

Quadro 5: - Classificação da Camada conforme o CBR do RCC

CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA DE ACORDO COM CBR DO RCC		
AMOSTRA	CBR	CAMADA ATENDIDA
RCC: Agregado Reciclado	10,1% < 12% Reforço do Subleito	O material não atende CBR p/ reforço do Subleito, Sub-base e Base.
	10,1% < 20% Sub-base	
	10,1% < 60% base	

Fonte: Do autor, 2018.

4.2 ESTUDOS REALIZADOS COM O SOLO NATURAL

GRANULOMETRIA SOLO NATURAL

A granulometria do solo referência foi definido pela (NBR 7181/84). Como a massa retida na peneira 0,074mm foi maior que 50% e a fração graúda passante da peneira 4,8mm é maior que 50%, o material se classifica pelo SUCS como SP (Solo Arenoso mau graduado com poucos finos), pois seu coeficiente de curvatura é 0,79, significa que o comportamento desta areia é uniformemente graduada, onde o limite para esta classificação fica entre 0 e 1, onde existem porcentagem alta de grãos de mesmo tamanho.

Tabela 4: Análise granulométrica do solo natural

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181				
Ø peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
19,1	0	0,00	0,00	100,00
9,5	0	0,00	0,00	100,00
4,8	3,4	0,51	0,51	99,49
2	44	6,60	7,11	92,89
1,19	41,6	6,24	13,34	86,66
0,6	71,7	10,75	24,09	75,91
0,42	108,3	16,23	40,32	59,68
0,25	178,1	26,70	67,02	32,98
0,15	161,4	24,19	91,22	8,78
0,074	27,1	4,06	95,28	4,72
< 0.074	31,5	4,72	100,00	0,00
Σ	667,1	100,00		

Fonte: Do autor, 2018.

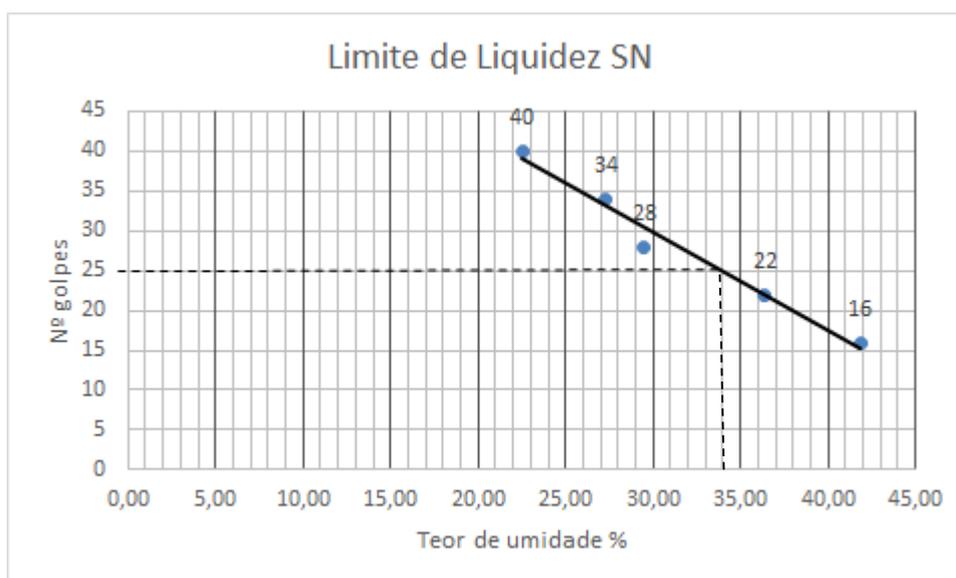
LIMITES DE CONSISTÊNCIA DO SOLO NATURAL

Conforme na metodologia apresentada anteriormente, foi executado no laboratório do CEULP ULBRA os ensaios de Limite de Liquidez de acordo a NBR 6459/16 e Limite de Plasticidade conforme a NBR 7180/16.

O gráfico 7 mostra o comportamento das amostras ensaiadas, onde foi pego o número de golpes ideal que é de 25 e assim encontrado o teor de umidade. Para a amostra do solo natural, o resultado do limite de liquidez é de 34,00%. O laudo do ensaio está em anexo no fim do trabalho.

O DNIT recomenda que para execução do material como base é aceitável valores menores ou igual a 25% acima disto somente se as condições de CBR e expansão forem atendidas.

Gráfico 7: Limite de Liquidez solo referencia



Fonte: Do autor, 2018.

Para o limite de Plasticidade do solo natural foi possível realizar o ensaio pois a amostra de solo se tratava de um material com teor argiloso suficiente para atingir uma consistência de moldagem do “espaguete”. O limite de plasticidade que o solo apresentou foi de 19,4%.

O DNIT recomenda que pode ser usado na pavimentação valores até 6%, porém, valores superiores só podem ser usados na execução da base se as condições de CBR e expansão forem atendidas.

O índice de plasticidade do solo foi calculado conforme o referencial teórico deste trabalho, onde apresentou valor de 14,6, com isto pode ser classificado como solo medianamente plástico, pois seus valores ficam dentro da faixa entre 7 e 15.

Quadro 6: Resumo dos Limites de Consistência do Solo Natural

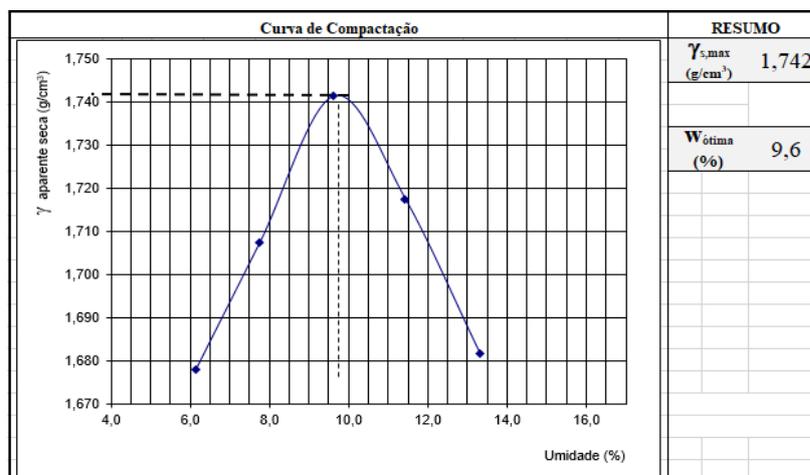
Limite de Liquidez (LL)	34,0
Limite de Plasticidade (LP)	19,4
Índice de Plasticidade (IP)	14,6

Fonte: Do autor, 2018.

COMPACTAÇÃO SOLO NATURAL

O ensaio de compactação foi realizado conforme a metodologia, seguindo a norma NBR 7182/16. Os resultados obtidos a partir dos ensaios determinam a densidade aparente seca de cada amostra e a umidade ótima do solo, como mostra o gráfico a seguir.

Gráfico 8: Curva de compactação do solo natural



Fonte: Do autor, 2018.

Conforme (Caputo, 1988) o material se classifica como Areia fina mal graduada e com poucos finos, pois sua densidade seca máxima não ultrapassa 1,9 kg/dm³ e sua umidade se apresenta entre 9% a 14%.

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO NATURAL

No Quadro 7, mostra o resumo de classificação do Solo Natural em relação as suas características granulométrica, índice de plasticidade, densidade seca e umidade ótima.

Quadro 7: Resumo de Classificação do Solo Natural

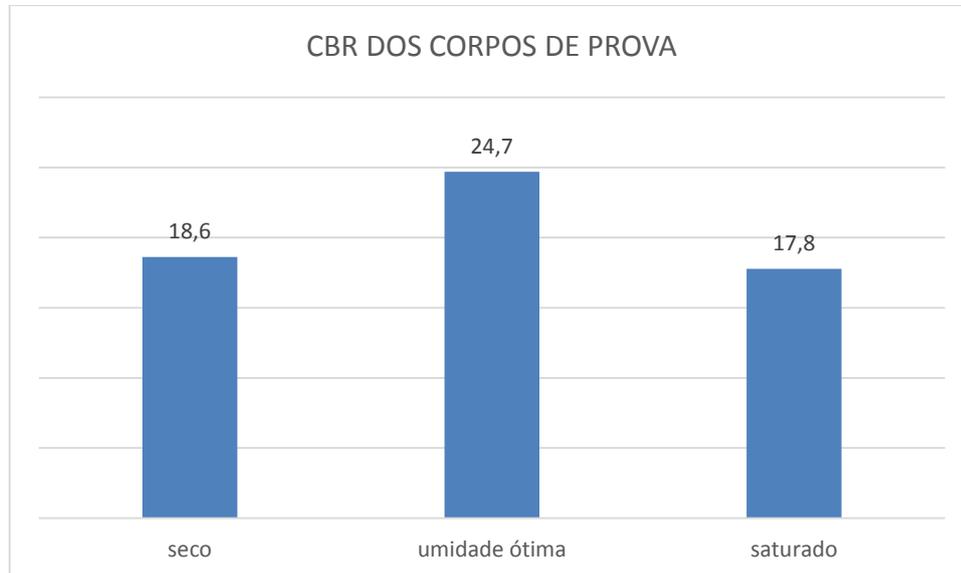
CLASSIFICAÇÃO DO SOLO NATURAL		
GRANULOMETRIA (SUCS)	ÍNDICE DE PLASTICIDADE (NBR 7184)	DENSIDADE SECA E UMIDADE ÓTIMA (CAPUTO, 1988)
(SP) Solo Arenoso mau graduado com poucos finos	Medianamente plástico	Areia fina mal graduada e com poucos finos

Fonte: Do autor, 2018.

CBR DO SOLO NATURAL

De acordo com a norma do DNIT 172/2016 - ME, foi realizado o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR). Conforme os resultados a seguir, retirados do apêndice ao final deste trabalho, o melhor resultado obtido pelo ensaio foi o da umidade ótima, onde apresentou o valor de 24,7% mostrando que o solo atende as condições de uso do DNIT para o subleito e para as camadas de reforço do subleito e sub-base.

Gráfico 9: CBR do solo natural



Fonte: Do autor, 2018.

Quadro 8: - Classificação da Camada conforme o CBR do Solo Natural

CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA DE ACORDO COM CBR DO SOLO		
AMOSTRA	CBR	CAMADA ATENDIDA
Solo Natural (Sucs):	24,7% ≥ 2%	Subleito
Solo Arenoso mau graduado com poucos finos	CBR do subleito < 24,7%	Reforço do Subleito
	24,7% ≥ 20%	Sub-base

Fonte: Do autor, 2018.

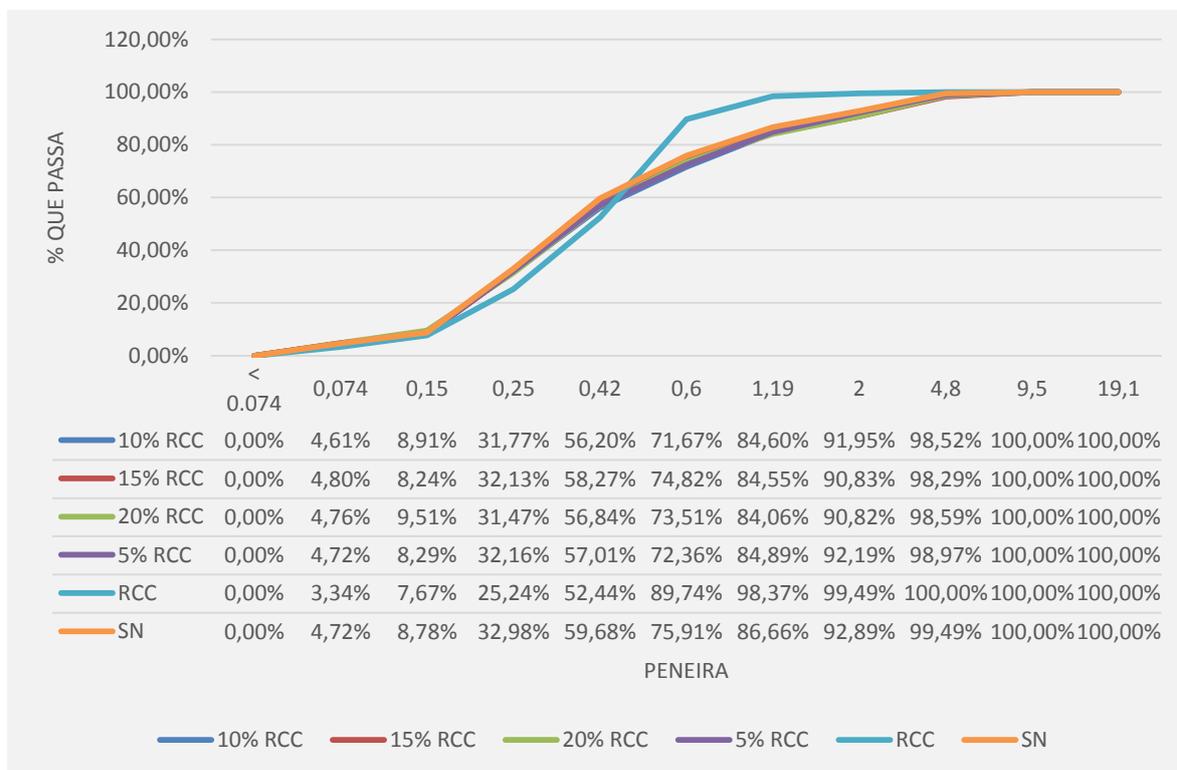
4.3 ESTUDOS REALIZADOS COM AS DOSAGENS DE RCC NO SOLO

As dosagens foram realizadas na ordem de 5%, 10%, 15% e 20%, para efeitos comparativos foram executados os ensaio de granulometria, compactação e CBR.

GRANULOMETRIA DAS ADIÇÕES DE RCC

As dosagens de RCC no solo pouco mudaram o comportamento do solo natural, pois o material também se tratava de uma areia, porém, com uma graduação melhor.

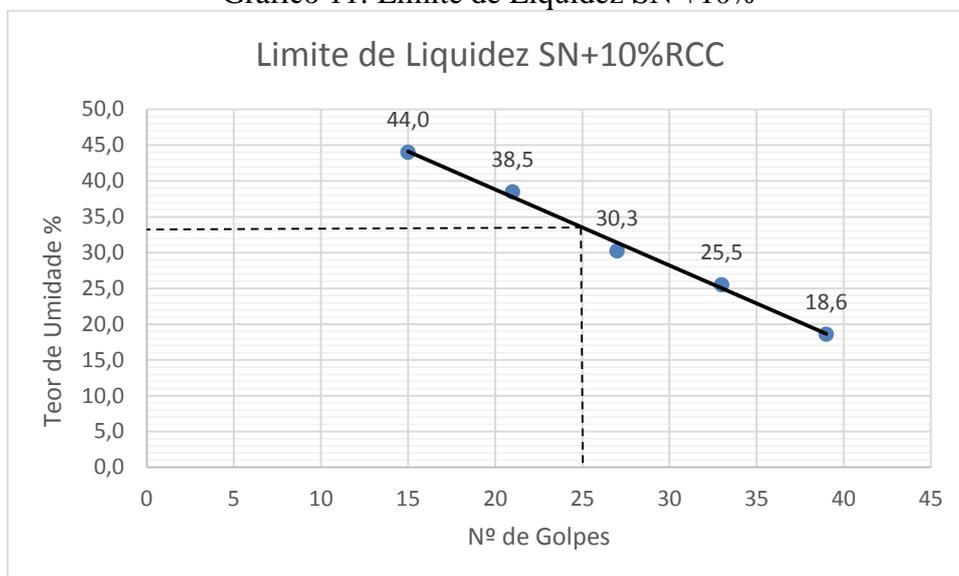
Gráfico 10: Comparação dos ensaio granulométricos



Fonte: Do autor, 2018.

LIMITES DE CONSISTÊNCIA DAS ADIÇÕES DE RCC

Grafico 11: Limite de Liquidez SN +10%



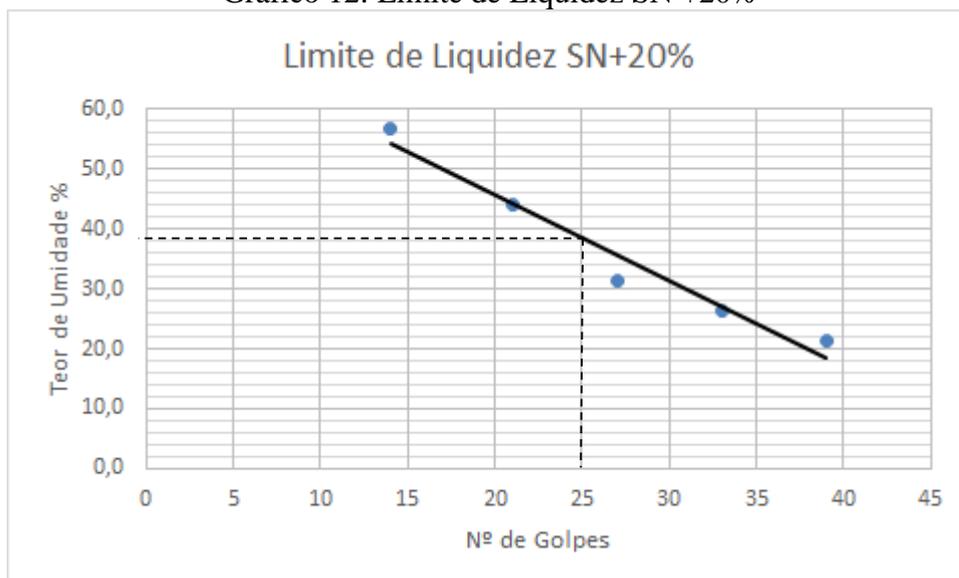
Fonte: Do autor, 2018.

Quadro 9: Resumo Limites solo + 10% RCC

Limite de Liquidez (LL)	34,0
Limite de Plasticidade (LP)	20,6
Índice de Plasticidade (IP)	13,4

Fonte: Do autor, 2018.

Grafico 12: Limite de Liquidez SN +20%



Fonte: Do autor, 2018.

Quadro 10: Resumo Limites solo + 20% RCC

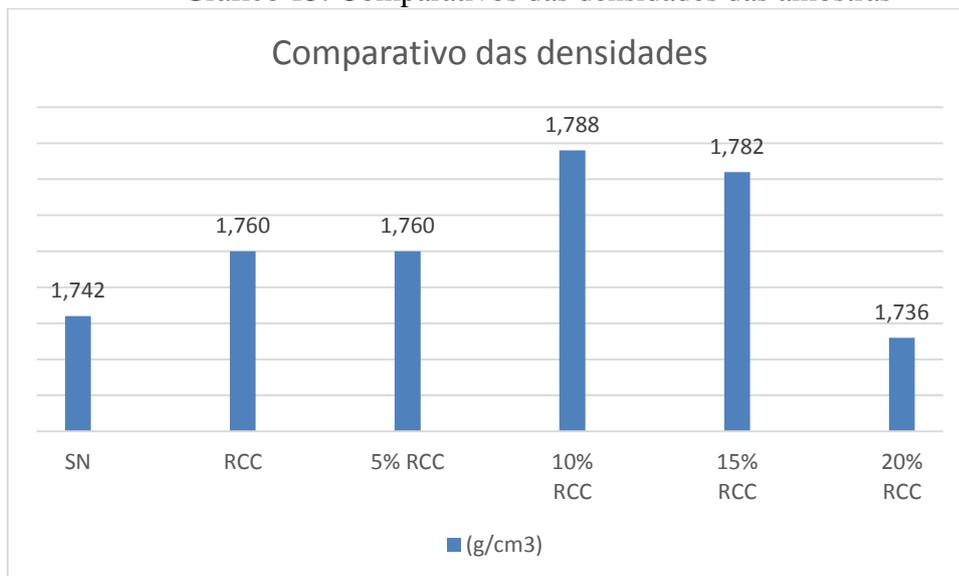
Limite de Liquidez (LL)	38,0
Limite de Plasticidade (LP)	22,3
Índice de Plasticidade (IP)	15,7

Fonte: Do autor, 2018.

COMPACTAÇÃO DAS ADIÇÕES DE RCC

Para cada mistura, foi acrescentada a quantidade de água estimada para se obter os pontos das curvas no gráfico, mostrando as densidades e umidades ótimas obtidas em cada um desses. O gráfico 13, demonstra as densidades máximas obtida no Ensaio de compactação para o solo Natural, o RCC e as dosagens. Como pode-se observar com a adição de 5% de RCC, o solo equiparou-se a densidade do RCC, com 10% de adição de RCC o solo ficou mais denso com menos vazios que as outras amostras e a medida que foi acrescentando RCC o solo foi reduzindo sua densidade.

Gráfico 13: Comparativos das densidades das amostras

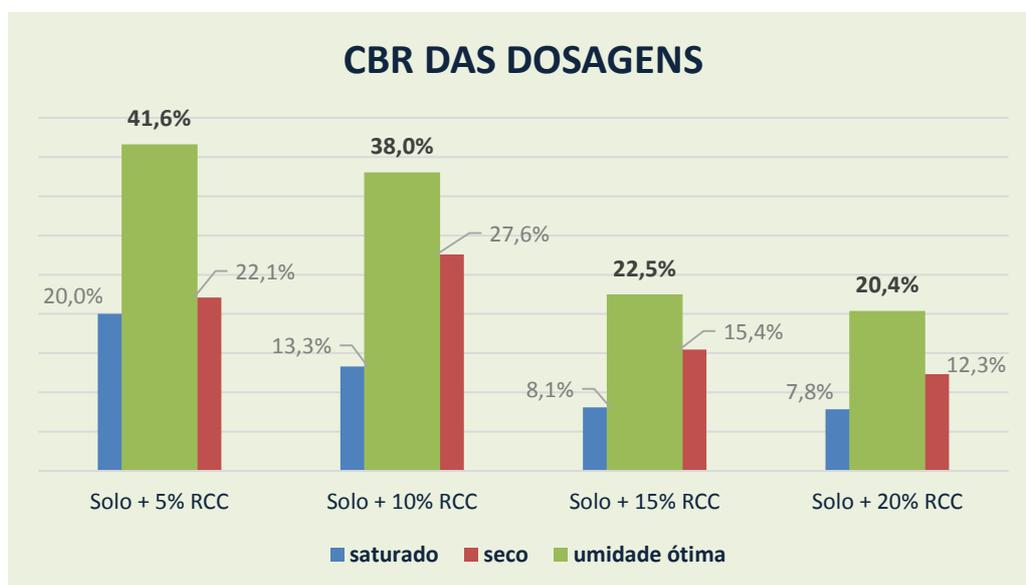


Fonte: Do autor, 2018.

CBR DAS ADIÇÕES DE RCC

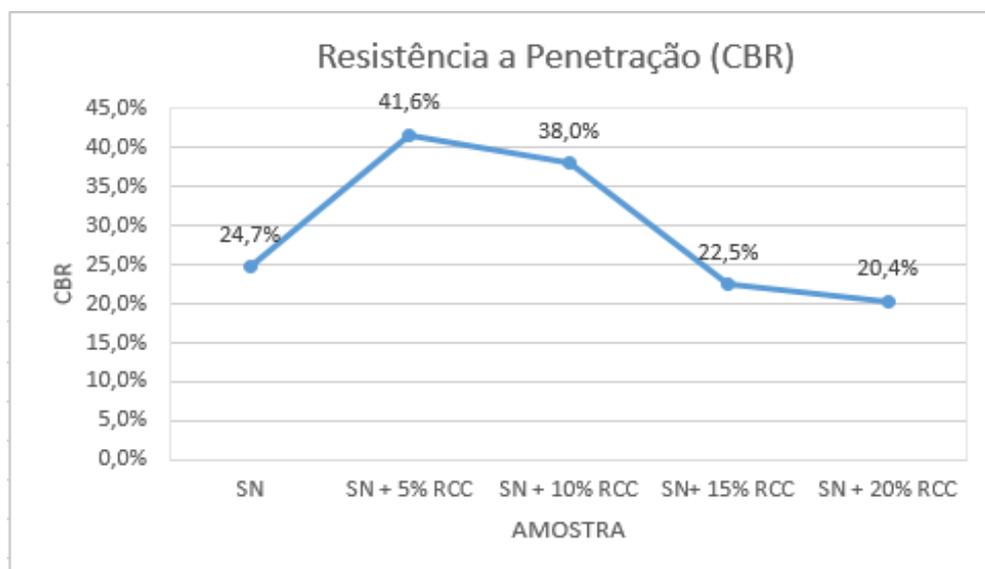
O gráfico 14, representa os resultados das quatro adições feitas no solo natural, verificando seu comportamento quanto á resistência a penetração. É possível observar que a adição de 5% de RCC no solo foi o melhor resultado, obtendo 41,6% de CBR melhorando assim 68,5% o solo natural, conforme vai aumentando a quantidade de RCC, o solo vai desestabilizando, piorando a resistência do solo natural. Os laudos dos ensaios estão em anexo ao final deste trabalho.

Gráfico 14: CBR de adições de RCC no solo



Fonte: Do autor, 2018.

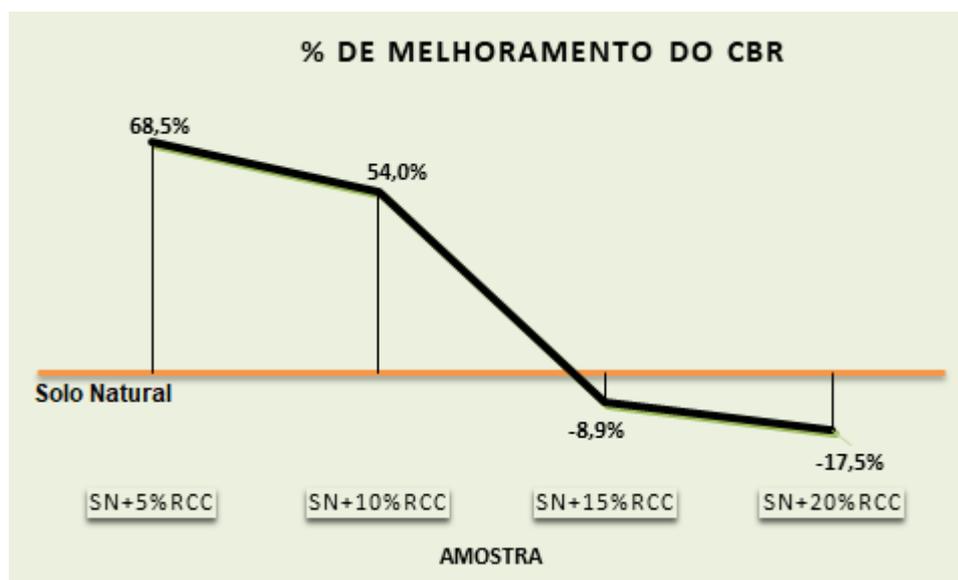
Gráfico 15: Comparativo dos CBR das adições de RCC



Fonte: Do autor, 2018.

No gráfico 16, a linha de referência na cor laranja representa o solo natural, com a adição de 5% de RCC, este solo melhorou significativamente 68,5% o seu CBR, com a adição de 10% de RCC o solo melhorou 54%, já com 15% e 20% de acréscimo de RCC o solo piora o CBR a ponto de ser menor que o solo natural.

Gráfico 16: Porcentagem de melhoramento do CBR conforme as dosagens



Fonte: Do autor, 2018.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO DE ESTUDOS FUTUROS

Diversas pesquisas na atualidade são desenvolvidas para o crescimento sustentável e fica evidente a necessidade de ampliação de novos estudos em todas as áreas que envolva a questão social e ambiental.

A priori procurou-se caracterizar o RCC proveniente da Usina de Reciclagem de Palmas, no Tocantins e avaliar seu comportamento diante de um certo tipo de solo com diferentes dosagens. O objetivo foi analisar a viabilidade mecânica do material a ser utilizado em camadas de pavimentação.

Diante do estudo realizado com RCC foi possível obter as seguintes conclusões:

O material demonstrou-se heterogêneo diante de sua composição, observou-se em sua formação características de concreto, alvenaria, azulejos, solo, vidro, mármore, granito, brita, seixo e gesso.

Com o resultado do ensaio granulométrico foi possível classificar o material conforme o SUCS como areia bem graduada com poucos finos, apresentando fração menor que 4,8mm e contendo 52% do seu material passante na peneira 0,42mm, descumprindo assim a NBR 15115, 2004, que recomenda que os grãos que passam na peneira fiquem na faixa de 10% a 40%.

O RCC apresentou para o ensaio de CBR o valor de 10,1%, com isto não sendo viável sua utilização na forma natural para executar camadas de pavimentação, pois o CBR é menor que 12% conforme indica a (NBR 15115, 2004).

Em um trabalho realizado por (Paiva, 2018) no primeiro semestre de 2018, o CBR encontrado com o material foi de 41%, podendo-se concluir que o RCC produzido em Palmas têm uma variabilidade alta de resistência a penetração, um possível motivo para que isto esteja acontecendo seja a falta de cuidados na separação dos materiais, possuindo assim materiais de outras classes não indicadas para sua utilização na pavimentação como recomenda a resolução do CONAMA, fazendo com que haja uma redução de resistência no rejeito.

Diante do estudo realizado com Solo Natural foi possível obter as seguintes conclusões:

Com o ensaio granulométrico observou-se que a massa retida na peneira 0,074mm é maior que 50% e a fração graúda passante da peneira 4,8mm é maior que 50%, classificando assim o material pelo SUCS como (Solo Arenoso mau graduado com poucos finos), pois seu coeficiente de curvatura é 0,79, significa que o comportamento desta areia é uniformemente

graduada, onde o limite para esta classificação fica entre 0 e 1, onde existem porcentagem alta de grãos de mesmo tamanho.

O índice de plasticidade do solo apresentou valor de 11,6, com isto foi classificado como solo medianamente plástico, pois seus valores ficaram dentro da faixa que a NBR 7184 classifica-o entre 7 e 15.

O CBR apresentou o valor de 24,7% mostrando que o solo atende as condições de uso do DNIT para as camadas de subleito, reforço do subleito e sub-base.

Diante do estudo realizado com Solo mais as dosagens de 5%,10%, 15% e 20% de RCC foi possível obter as seguintes conclusões:

Para o ensaio de CBR foi possível observar que a adição de 5% de RCC no solo foi o melhor resultado, obtendo um resultado de 41,6%, a medida que foi aumentando a quantidade de RCC, o solo foi desestabilizando, chegando a piorar a condição de resistência a penetração do solo natural. Pode se concluir que com 5% de adição de RCC, o material pode ser utilizado tanto para o subleito tanto para as camadas de reforço do subleito e sub-base, apesar do significativo melhoramento do solo, não foi suficiente para que o mesmo fosse utilizado como camada de base onde o DNIT exige que o CBR mínimo seja de 60% para vias urbanas.

O presente estudo permite dizer que o RCC é eficiente no quesito de melhoramento das características do solo natural, porém deve-se haver cautela no seu uso, pois pode haver uma inversão de resistência à medida que a dosagem é superior a 10%.

Como sugestão para trabalhos futuros:

- Investigar o RCC produzido em diferentes períodos para encontrar um coeficiente de variabilidade no seu comportamento;
- Realizar pesquisa com outros tipos de solo, para avaliar o comportamento do solo;
- Fazer um estudo comparativo econômico com a utilização de RCC e a exploração de recursos naturais para vias urbanas.

REFERÊNCIAS

- ABNT – NBR 06502. Rochas e Solos. Associação de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT – NBR 7181. Análise Granulométrica. Associação de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – NBR 7250. Identificação e Descrição de Amostras de Solo Obtidas em Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos. Associação de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1982.
- ABNT – NBR 6457 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 1984.
- Abrelpe. (2011). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2011. *Chemistry & ...*, 186. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- Abrelpe. (2012). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. *Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil*, 116. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bandeira, M. O. *Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil Estudo de Caso: Palmas - TO* (2014). Palmas, Tocantins.
- BATISTA, C. F. N. *Ensaio Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis*. Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1976D
- BERNARDES, A. *Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição na cidade de Passo Fundo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Infraestrutura e Meio Ambiente) – Universidade de Passo Fundo, 2006.
- Brasil. (2017). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1o de julho de 2017*, 1–118.
- Caputo, H. P. (1988). *Mecânica dos solos e suas aplicações*. *Mecânica Dos Solos e Suas Aplicações*, 244. Retrieved from <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos->

vol1-6ed-caputo.pdf

FARIAS, I. P. Proposta de Modelo de Gestão de Resíduos da Construção Civil para a Zona Leste da Cidade de Teresina-PI. 2014. 229 f Tese (Doutorado em Geografia) – UNESP, Rio Claro (SP), 2014.

LIMA, D. C. Estabilização Solo-Cal. In: 19ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Rio de Janeiro. Anais... p.67-82, 1984.

Lima, J. A. R. (1999). Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. Escola de Engenharia de São Carlos, Mestrado, 204.

MAKUSA, G. P. Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review. Sweden: Lulea? University of Technology, 2013.

MEDINA, J., 1997, Mecânica dos Pavimentos. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. Pini: São Paulo, 1ª ed., p. 580, 1994.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - MEC. (n.d.). Educação Profissional - Construção Civil. Retrieved from <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/constciv.pdf>

Ministério do Meio Ambiente. (2002). Resolução no 307, de 5 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. DOU No 136, 2015, 95–96. Retrieved from <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>

NBR - 11804: Materiais para sub-base ou base de pavimentos estabilizados granulometricamente, 1991.

NBR - 15114: Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação, 2004.

NBR - 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos, 2004.

NBR - 7809: Agregados Graúdos, Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de Ensaio, 2006.

NBR - 9895: Ensaio Índice de Suporte California, 1987.

NBR 6459 – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

NBR-7180: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

NBR-7182: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

Pinto, C. (2006). Curso Básico Mecânica dos Solos - Carlos de Souza Pinto.pdf.

PINTO, C. de S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo, 2000

Pinto, T. de P. (1999). Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana, 218.

PINTO, T.P. (1997a) Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. Anais. São Paulo, EPUSP/ANTAC, p.156-170

SEGANTINI, Antonio et. al. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. Maringá. Universidade Paulista. 2011.

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de Técnicas de Pavimentação. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997.

Vasques, C. C. P. C. F., & Pizzo, L. M. B. F. (2014). Comparativo de Sistemas Construtivos, Convencional e Wood Frame em Residências Unifamiliares.

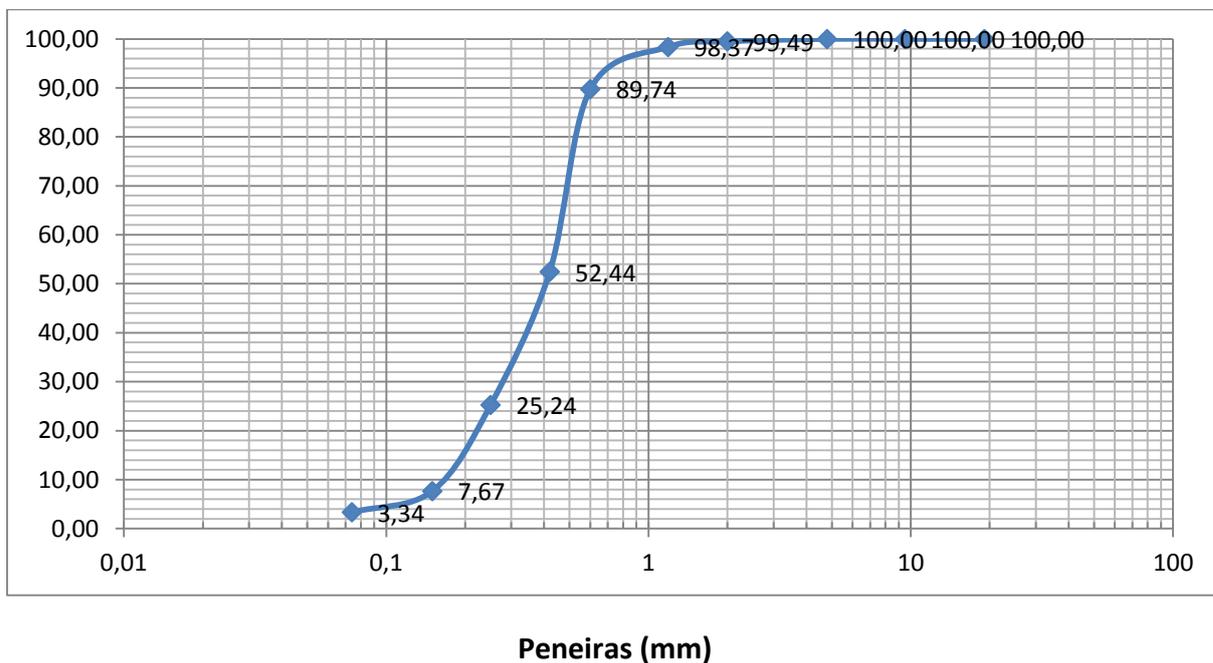
VILLIBOR, D. F. Estabilização Granulométrica ou Mecânica. GRÁFICA EESC – USP, São Carlos, SP, 1982

APÊNDICE

Laudo dos ensaios realizados com o RCC:

Granulometria:

Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
19,1		0,00	0,00	100,00
9,5		0,00	0,00	100,00
4,8	0	0,00	0,00	100,00
2	4,8	0,51	0,51	99,49
1,19	10,6	1,12	1,63	98,37
0,6	81,5	8,63	10,26	89,74
0,42	352,2	37,30	47,56	52,44
0,25	256,8	27,20	74,76	25,24
0,15	165,9	17,57	92,33	7,67
0,074	40,9	4,33	96,66	3,34
Σ	944,2	100,00		





CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000



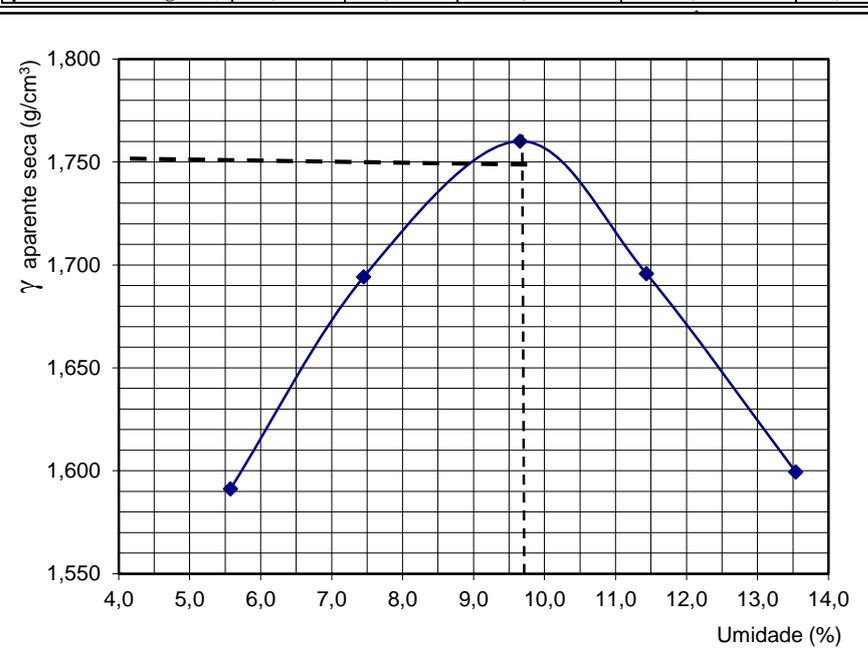
COMPACTAÇÃO RCC

Solicitante: Gyullia Gabriela
Descrição: RCC **Estaca:** _____ **Reg. Nº:** _____
Trecho: _____ **Prof (m):** _____ **Amostra:** _____
Energia: Proctor Normal **Golpes:** 12 **Soquete:** Grande **Molde:** Grande

COMPACTAÇÃO - NBR-7182

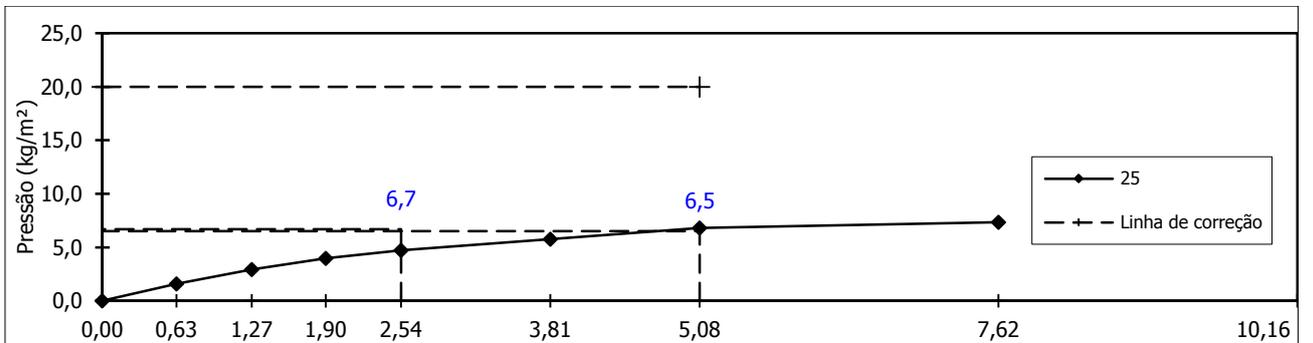
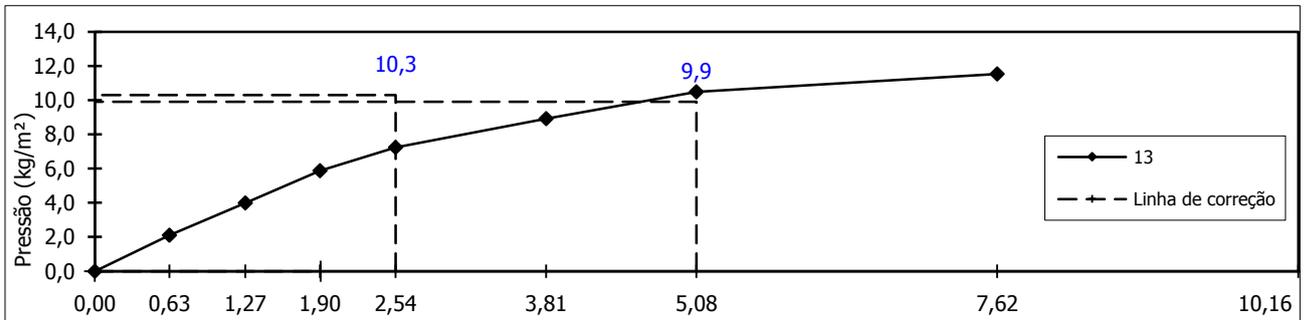
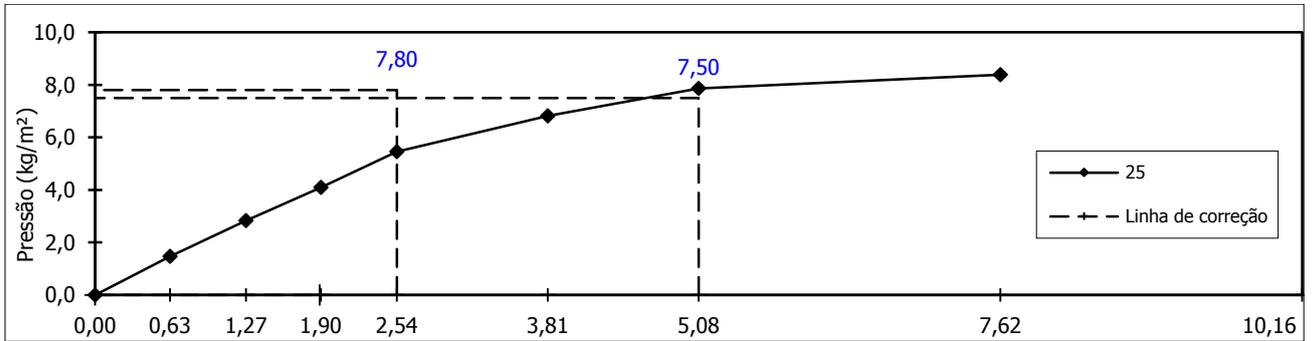
Teor de Umidade											Umidade Higroscópica		
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
C + S + A	(g)	75,9	75,9	79,6	79,6	78,5	78,5	91,2	91,2	90,9	90,9		
C + S	(g)	72,8	72,8	75,3	75,3	73,2	73,2	84,1	84,2	82,1	82,1		
C - Cápsula	(g)	17,2	17,2	17,6	17,6	18,3	18,3	22,5	22,5	17,1	17,1		
A - Água	(g)	3,1	3,1	4,3	4,3	5,3	5,3	7,1	7,0	8,8	8,8		
S - Solo	C	55,6	55,6	57,7	57,7	54,9	54,9	61,6	61,7	65,0	65,0		
w - Umidade	(%)	5,6	5,6	7,5	7,5	9,7	9,7	11,5	11,3	13,5	13,5		
Umidade Média	(%)	5,6		7,5		9,7		11,4		13,5			

Dados de Compactação dos Corpos de Prova							Material Usado em Cada CP para Homogeneização		
Água Adic.	(g)	200	300	400	500	600			
% Água Adic.	(%)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0		Múmda (g)	5000
Umidade Calc.	(%)	5,6	7,5	9,7	11,4	13,5	Nº	Peso	Volume
Nº do Molde	#	25	6	7	A20	11	#	(cm)	(cm³)
M + S + A	(g)	8820	9125	9340	9300	9250	25		2081
M - Molde	(g)	5324	5324	5312	5360	5455	6		2088
S + A	(g)	3496	3801	4028	3940	3790	7		2087
γ úmida	(g/cm³)	1,680	1,820	1,930	1,890	1,816	20		2085
γ seca	(g/cm³)	1,591	1,694	1,760	1,696	1,599	11		2087



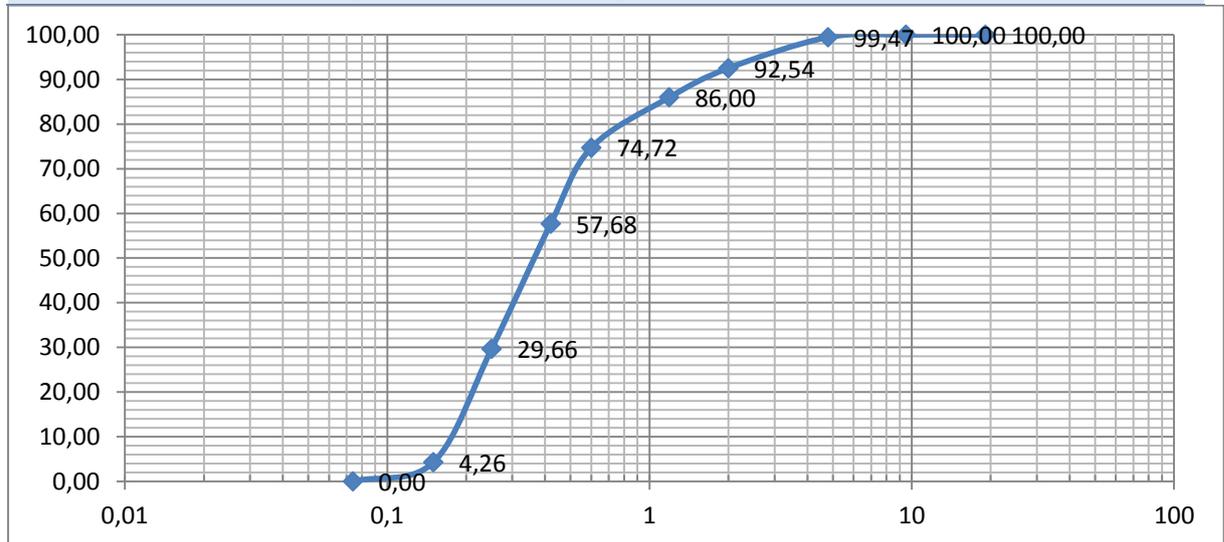
Resumo	
$\gamma_{s,max}$ (g/cm³)	1,760
Wótima (%)	9,7
Observações Gerais:	

CBR



Laudo dos ensaios realizados com o Solo Natural:

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA SOLO NATURAL					
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira	
19,1	0	0,00	0,00	100,00	
9,5	0	0,00	0,00	100,00	
4,8	3,4	0,53	0,53	99,47	
2	44	6,92	7,46	92,54	
1,19	41,6	6,54	14,00	86,00	
0,6	71,7	11,28	25,28	74,72	
0,42	108,3	17,04	42,32	57,68	
0,25	178,1	28,02	70,34	29,66	
0,15	161,4	25,39	95,74	4,26	
0,074	27,1	4,26	100,00	0,00	
Σ	635,6	100,00			



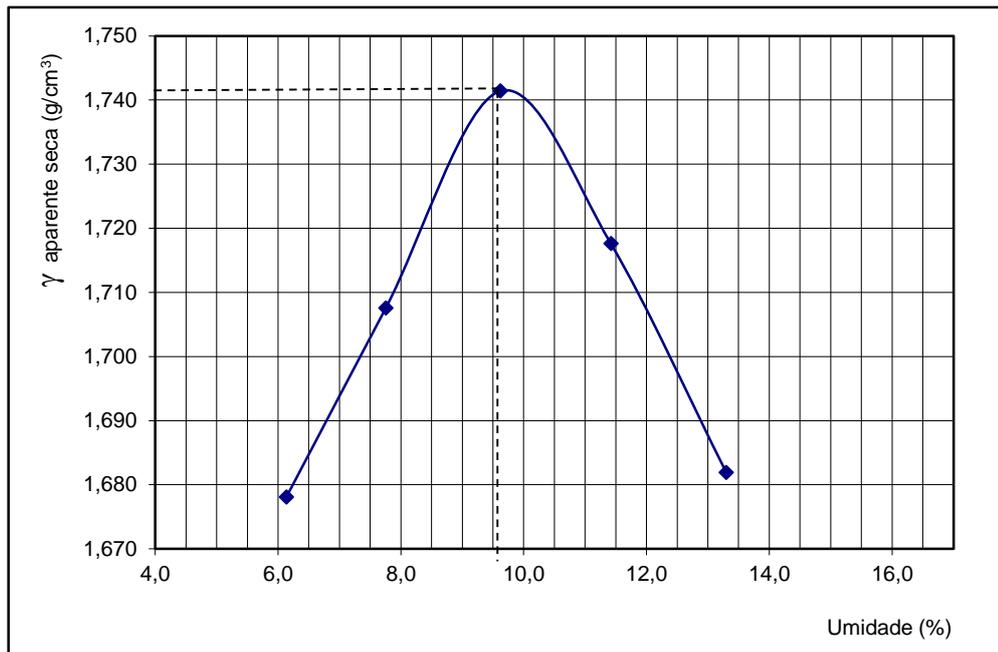
Limites de Consistência

LIMITE DE LIQUIDEZ SOLO NATURAL								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	50,40	53,80	50,20	54,10	51,00		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	44,20	46,00	42,80	43,00	41,00		
Massa da Cápsula	(g)	16,70	17,40	17,70	12,50	17,10		
Massa da Água	(g)	6,20	7,80	7,40	11,10	10,00		
Massa Solo Seco	(g)	27,50	28,60	25,10	30,50	23,90		
Teor de Umidade	(%)	22,55	27,27	29,48	36,39	41,84		
Número de Golpes	#	40	34	28	22	16		

LIMITE DE PLASTICIDADE SOLO NATURAL								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	3	4	6	18	24		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	9,90	9,70	8,70	10,80	9,50		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,70	9,50	8,50	10,50	9,30		
Massa da Cápsula	(g)	8,60	8,50	7,50	8,90	8,30		
Massa da Água	(g)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,20		
Massa Solo Seco	(g)	1,10	1,00	1,00	1,60	1,00		
Teor de Umidade	(%)	18,18	20,00	20,00	18,75	20,00		

Compactação

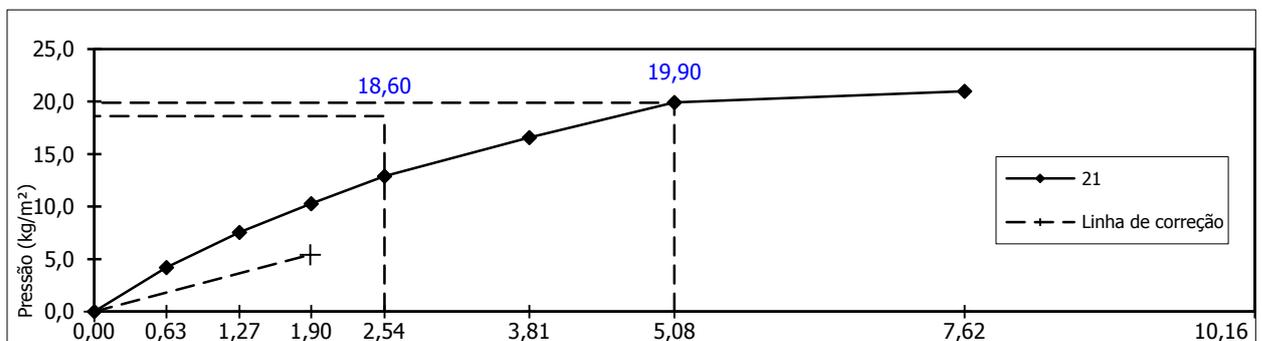
 CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO" Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000													
COMPACTAÇÃO SOLO NATURAL													
											Umidade Higroscópica		
Teor de Umidade													
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
C + S + A	(g)	51,2	51,2	57,5	57,5	57,9	57,9	57,3	57,3	63,8	63,8		
C + S	(g)	49,2	49,2	54,6	54,6	54,6	54,6	53,2	53,2	58,4	58,4		
C - Cápsula	(g)	16,6	16,6	17,2	17,2	20,3	20,3	17,3	17,3	17,8	17,8		
A - Água	(g)	2,0	2,0	2,9	2,9	3,3	3,3	4,1	4,1	5,4	5,4		
S - Solo	C	32,6	32,6	37,4	37,4	34,3	34,3	35,9	35,9	40,6	40,6		
w - Umidade	(%)	6,1	6,1	7,8	7,8	9,6	9,6	11,4	11,4	13,3	13,3		
Umidade Média	(%)	6,1		7,8		9,6		11,4		13,3			
Dados de Compactação dos Corpos de Prova													
Água Adic.	(g)	200	300	400	500	600							
% Água Adic.	(%)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0				Múmida (g)	5000		
Umidade Calc.	(%)	6,1	7,8	9,6	11,4	13,3	Nº	Peso	Volume				
Nº do Molde	#	17	17	17	17	17	#	(cm)	(cm³)				
M + S + A	(g)	9100	9390	9620	9320	9360	17	5383	2087				
M - Molde	(g)	5383	5550	5636	5326	5383	17	5383	2087				
S + A	(g)	3717	3840	3984	3994	3977	17	5383	2087				
γ úmida	(g/cm³)	1,781	1,840	1,909	1,914	1,906	17	5383	2087				
γ seca	(g/cm³)	1,678	1,708	1,741	1,718	1,682	17	5383	2087				

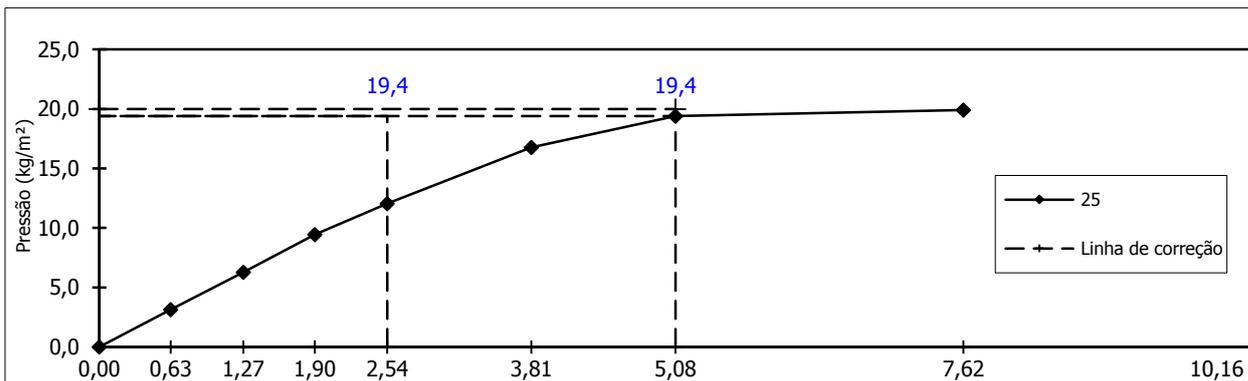
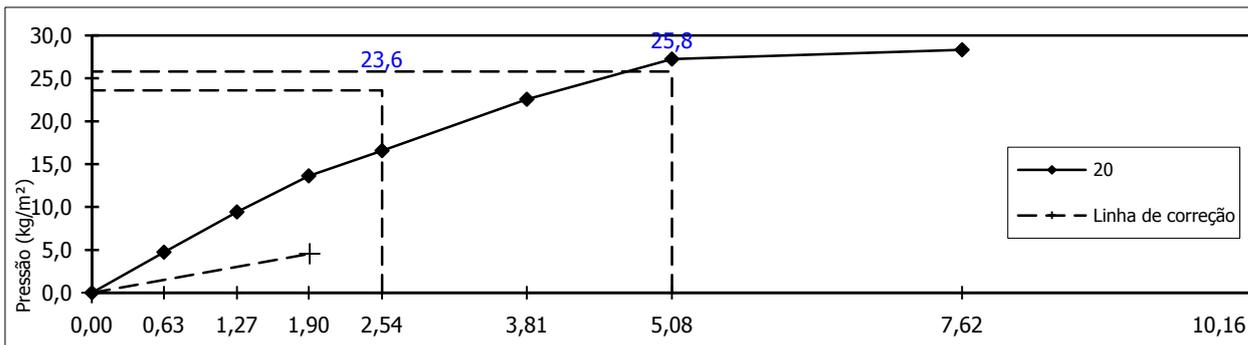


CBR

PENETRAÇÃO

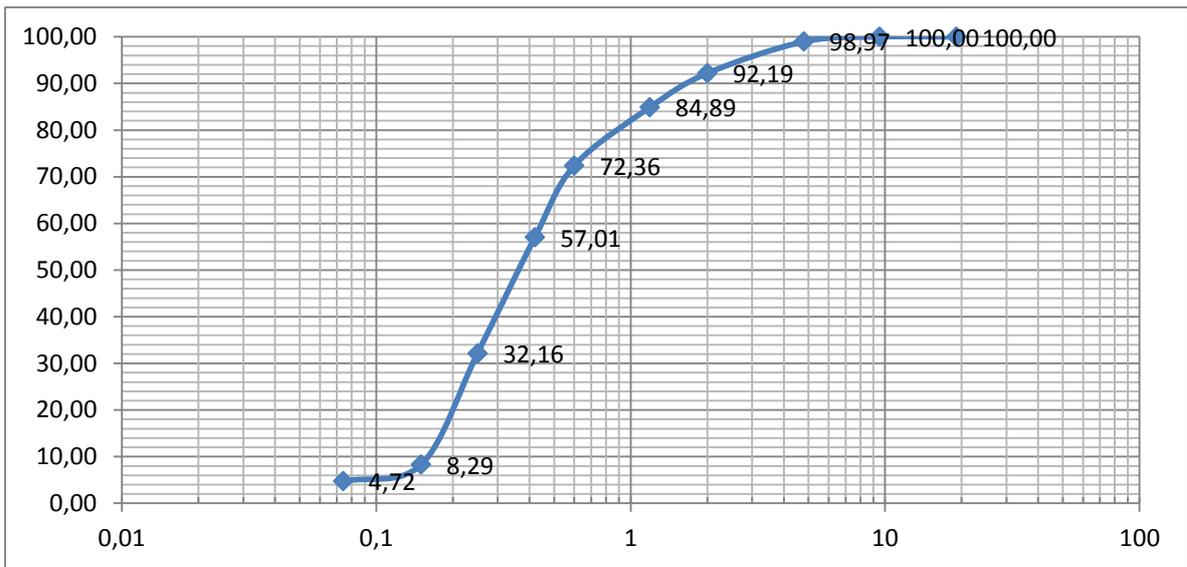
Tempo	Penetração	Pol.	Pressão Padrão	Molde	21			Molde	20			Molde	25			
					Leitura	Pressão Kg/m ²			ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²	
Min.	mm			mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	
-	-	-	-					0								
0,0	0,00	0,000	-													
0,5	0,63	0,025	-	40	4,19			45	4,7			30	3,1			
1,0	1,27	0,050	-	72	7,55			90	9,4			60	6,3			
1,5	1,90	0,075	-	98	10,28			130	13,6			90	9,4			
2,0	2,54	0,100	70,31	123	12,90	12,9	18,3	158	16,6	16,6	23,6	115	12,1	12,1	17,1	
3,0	3,81	0,150	-	158	16,57			215	22,5			160	16,8			
4,0	5,08	0,200	105,46	190	19,92	19,9	18,9	260	27,3	27,3	25,8	185	19,4	19,4	18,4	
6,0	7,62	0,300	-	200	20,97			270	28,3			190	19,9			
8,0	10,16	0,400	-													
10,0	12,70	0,500	-													





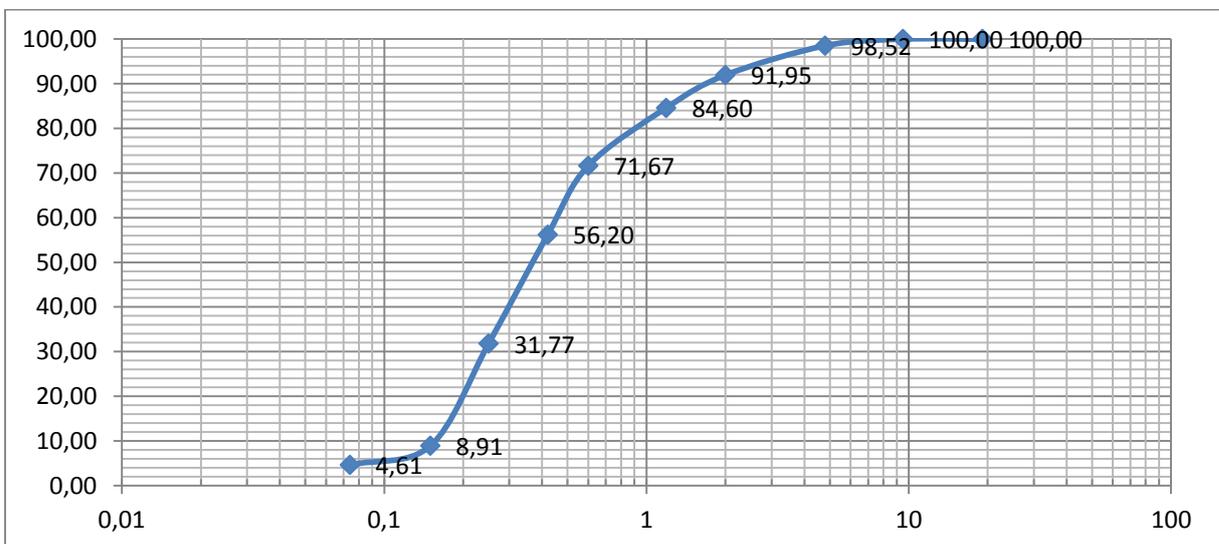
Laudo dos ensaios realizados com as dosagens de RCC:

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA SOLO + 5% RCC				
Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
19,1	0	0,00	0,00	100,00
9,5	0	0,00	0,00	100,00
4,8	6,9	1,03	1,03	98,97
2	45,2	6,78	7,81	92,19
1,19	48,7	7,30	15,11	84,89
0,6	83,5	12,52	27,64	72,36
0,42	102,4	15,35	42,99	57,01
0,25	165,7	24,85	67,84	32,16
0,15	159,2	23,87	91,71	8,29
0,074	23,8	3,57	95,28	4,72
Σ	666,9	100,00		



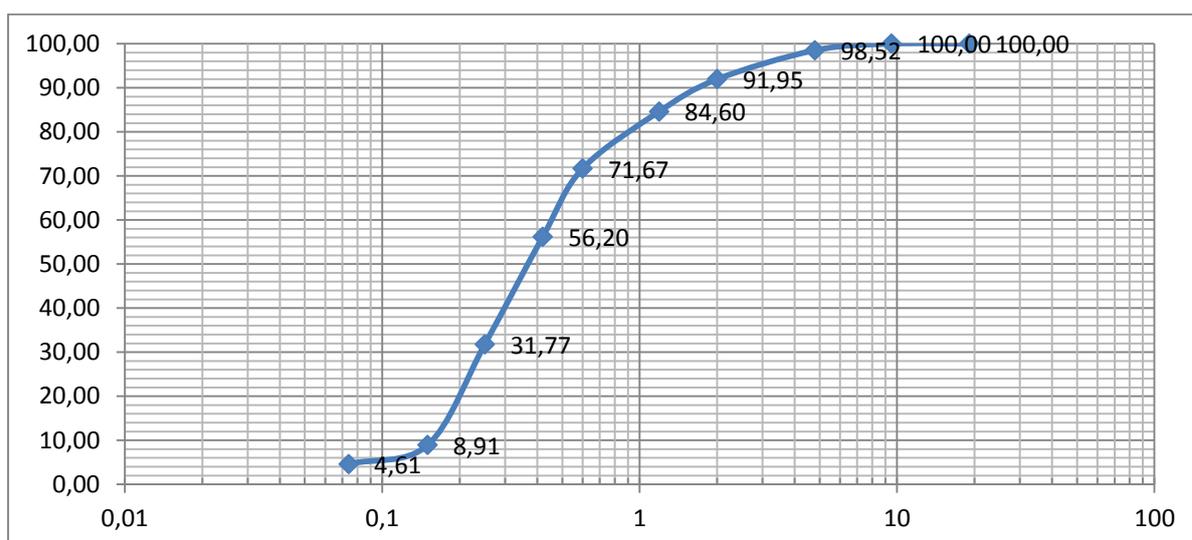
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA SOLO + 10% RCC

Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
19,1	0	0,00	0,00	100,00
9,5	0	0,00	0,00	100,00
4,8	10,1	1,48	1,48	98,52
2	44,9	6,57	8,05	91,95
1,19	50,2	7,35	15,40	84,60
0,6	88,4	12,94	28,33	71,67
0,42	105,7	15,47	43,80	56,20
0,25	166,9	24,43	68,23	31,77
0,15	156,2	22,86	91,09	8,91
0,074	29,4	4,30	95,39	4,61
Σ	683,3	100,00		



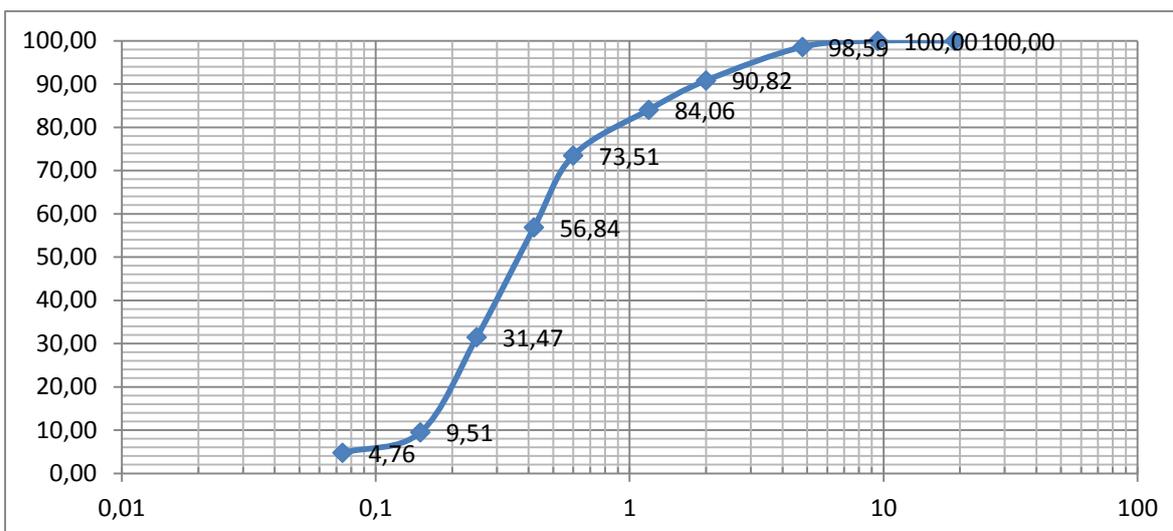
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA SOLO + 15% RCC

Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
19,1	0	0,00	0,00	100,00
9,5	0	0,00	0,00	100,00
4,8	11,2	1,71	1,71	98,29
2	48,9	7,46	9,17	90,83
1,19	41,2	6,28	15,45	84,55
0,6	63,8	9,73	25,18	74,82
0,42	108,5	16,55	41,73	58,27
0,25	171,4	26,14	67,87	32,13
0,15	156,7	23,90	91,76	8,24
0,074	22,5	3,43	95,20	4,80
Σ	655,7	100,00		



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR - 7181

Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
19,1	0	0,00	0,00	100,00
9,5	0	0,00	0,00	100,00
4,8	9,3	1,41	1,41	98,59
2	51,4	7,77	9,18	90,82
1,19	44,7	6,76	15,94	84,06
0,6	69,8	10,55	26,49	73,51
0,42	110,2	16,66	43,16	56,84
0,25	167,8	25,37	68,53	31,47
0,15	145,2	21,96	90,49	9,51
0,074	31,4	4,75	95,24	4,76
Σ	661,3	100,00		



Limites de Consistência

LIMITE DE LIQUIDEZ – SOLO + 20% RCC								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	50,20	51,60	50,40	51,00	50,70		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	45,30	44,50	42,50	41,30	40,40		
Massa da Cápsula	(g)	19,00	16,70	16,40	16,10	17,00		
Massa da Água	(g)	4,90	7,10	7,90	9,70	10,30		
Massa Solo Seco	(g)	26,30	27,80	26,10	25,20	23,40		
Teor de Umidade	(%)	18,63	25,54	30,27	38,49	44,02		
Número de Golpes	#	39	33	27	21	15		

LIMITE DE PLASTICIDADE – SOLO + 10% RCC								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	5		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	9,30	9,40	9,10	9,70	9,70		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,10	9,20	8,90	9,50	9,50		
Massa da Cápsula	(g)	8,20	8,30	7,80	8,40	8,60		
Massa da Água	(g)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
Massa Solo Seco	(g)	0,90	0,90	1,10	1,10	0,90		
Teor de Umidade	(%)	22,22	22,22	18,18	18,18	22,22		

LIMITE DE LIQUIDEZ – SOLO + 20% RCC								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	1	2	3	4	7		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	53,10	53,50	56,00	53,70	55,90		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	47,00	45,90	47,00	43,10	42,50		
Massa da Cápsula	(g)	18,50	17,20	18,30	19,00	18,90		
Massa da Água	(g)	6,10	7,60	9,00	10,60	13,40		
Massa Solo Seco	(g)	28,50	28,70	28,70	24,10	23,60		
Teor de Umidade	(%)	21,40	26,48	31,36	43,98	56,78		
Número de Golpes	#	39	33	27	21	14		

LIMITE DE PLASTICIDADE - SOLO + 20% RCC								
Determinação	#	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula	#	3	4	6	18	24		
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	10,00	9,80	9,60	9,80	8,90		
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,80	9,60	9,40	9,60	8,70		
Massa da Cápsula	(g)	8,90	8,70	8,50	8,60	7,90		
Massa da Água	(g)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
Massa Solo Seco	(g)	0,90	0,90	0,90	1,00	0,80		
Teor de Umidade	(%)	22,22	22,22	22,22	20,00	25,00		

Compactação



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000

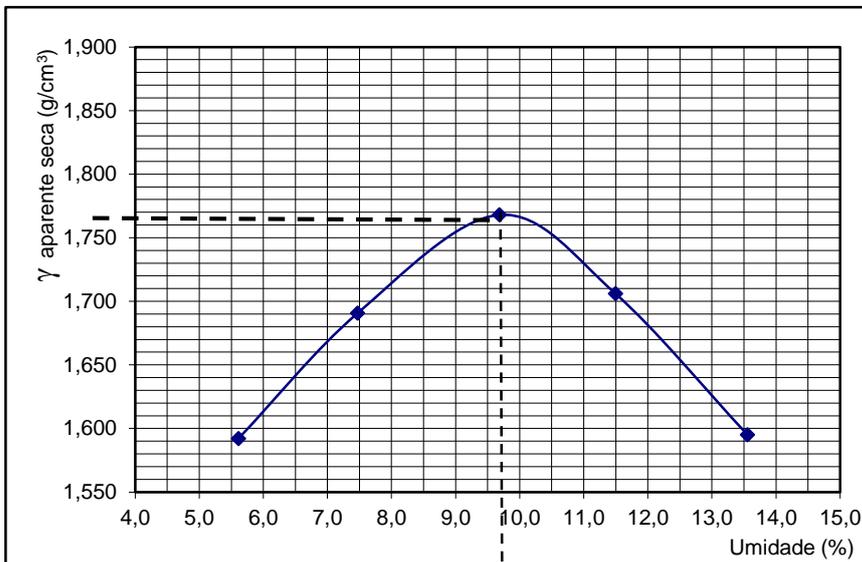


COMPACTAÇÃO SOLO + 5% RCC

Teor de Umidade											Umidade Higroscópica		
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
C + S + A	(g)	81,2	81,2	85,2	85,2	80,6	80,6	90,4	90,4	92,5	92,5		
C + S	(g)	77,8	77,8	80,5	80,5	75,1	75,1	83,4	83,4	83,5	83,5		
C - Cápsula	(g)	17,2	17,2	17,6	17,6	18,3	18,3	22,5	22,5	17,1	17,1		
A - Água	(g)	3,4	3,4	4,7	4,7	5,5	5,5	7,0	7,0	9,0	9,0		
S - Solo	C	60,6	60,6	62,9	62,9	56,8	56,8	60,9	60,9	66,4	66,4		
w - Umidade	(%)	5,6	5,6	7,5	7,5	9,7	9,7	11,5	11,5	13,6	13,6		
Umidade Média	(%)	5,6		7,5		9,7		11,5		13,6			

Dados de Compactação dos Corpos de Prova									
Água Adic.	(g)	200	300	400	500	600	Múmida (g)		5000
% Água Adic.	(%)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	Nº	Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	5,6	7,5	9,7	11,5	13,6	#	(cm)	(cm³)
Nº do Molde	#	34	34	7	13	14	34		2084
M + S + A	(g)	8830	9120	9380	9300	9080	34		2088
M - Molde	(g)	5326	5326	5333	5334	5321	7		2087
S + A	(g)	3504	3794	4047	3966	3782	13		2085
γ úmida	(g/cm³)	1,681	1,817	1,939	1,902	1,811	14		2088
γ seca	(g/cm³)	1,592	1,691	1,768	1,706	1,595			

Curva de Compactação



Resumo

$\gamma_{s,max}$ (g/cm³) 1,76

$W_{ótima}$ (%) 9,6

Observações Gerais:

Visto



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000

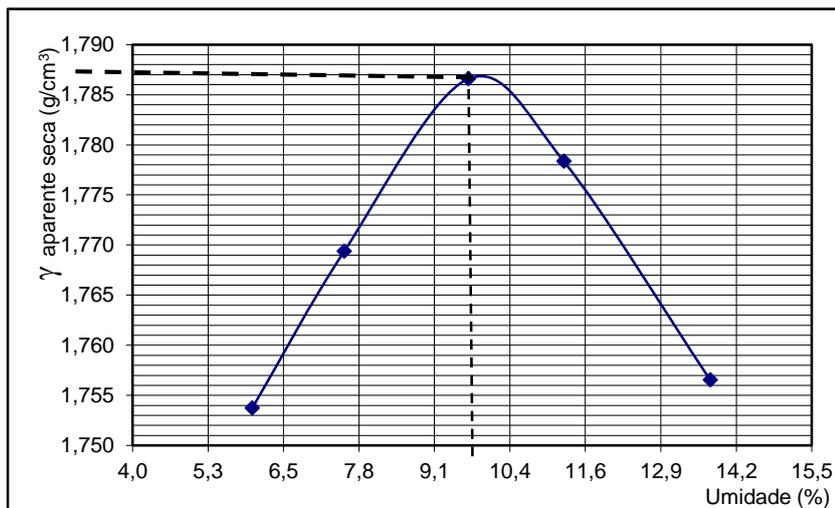


COMPACTAÇÃO SOLO + 10% RCC

Teor de Umidade											Umidade Higroscópica		
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
C + S + A	(g)	90,4	90,4	94,0	94,0	93,0	93,0	104,3	104,3	111,3	111,3		
C + S	(g)	86,3	86,3	88,5	88,7	86,3	86,3	95,4	95,4	99,9	99,9		
C - Cápsula	(g)	18,2	18,2	17,3	17,3	17,0	17,0	16,5	16,5	17,0	17,0		
A - Água	(g)	4,1	4,1	5,5	5,3	6,7	6,7	8,9	8,9	11,4	11,4		
S - Solo	C	68,1	68,1	71,2	71,4	69,3	69,3	78,9	78,9	82,9	82,9		
w - Umidade	(%)	6,0	6,0	7,7	7,4	9,7	9,7	11,3	11,3	13,8	13,8		
Umidade Média	(%)	6,0		7,6		9,7		11,3		13,8			

Dados de Compactação dos Corpos de Prova										
Água Adic.	(g)	200	300	400	500	600				
% Água Adic.	(%)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	M _{úmida} (g)	5000		
Umidade Calc.	(%)	6,0	7,6	9,7	11,3	13,8	Nº	Peso	Volume	
Nº do Molde	#	4	8	3	2	4	#	(Kg)	(cm ³)	
M + S + A	(g)	9210	9420	9500	9460	9500	4	5324	2090	
M - Molde	(g)	5324	5440	5407	5324	5324	8	5440	2091	
S + A	(g)	3886	3980	4093	4136	4176	3	5407	2089	
γ úmida	(g/cm ³)	1,859	1,903	1,959	1,979	1,998	2	5324	2090	
γ seca	(g/cm ³)	1,754	1,769	1,787	1,778	1,757	4	5324	2090	

Curva de Compactação



Resumo

γ _{s,max} (g/cm ³)	1,788
W _{ótima} (%)	9,7

Observações Gerais:

Visto _____



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000

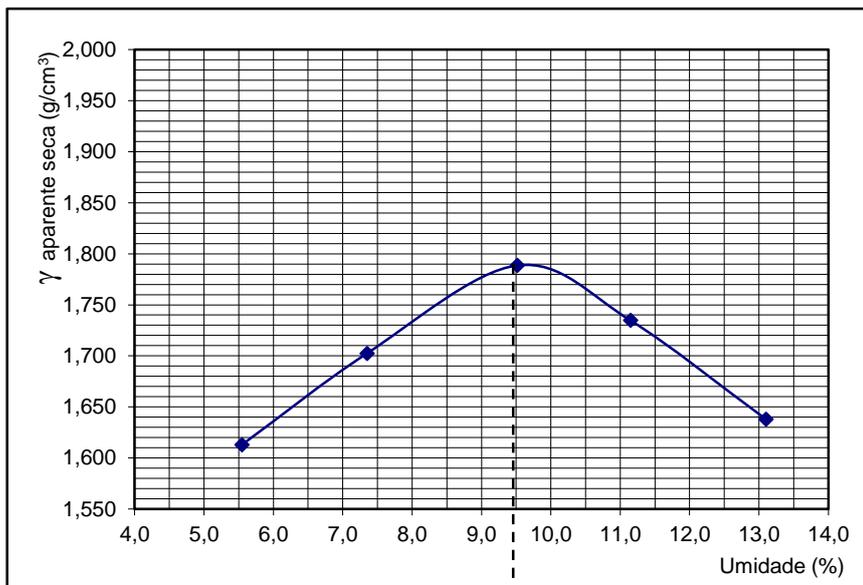


COMPACTAÇÃO SOLO + 15% RCC

Teor de Umidade											Umidade Higroscópica		
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
C + S + A	(g)	76,2	76,2	80,4	80,4	79,3	79,3	90,3	90,3	122,4	122,4		
C + S	(g)	73,1	73,1	76,1	76,1	74,0	74,0	83,5	83,5	110,2	110,2		
C - Cápsula	(g)	17,2	17,2	17,6	17,6	18,3	18,3	22,5	22,5	17,1	17,1		
A - Água	(g)	3,1	3,1	4,3	4,3	5,3	5,3	6,8	6,8	12,2	12,2		
S - Solo	C	55,9	55,9	58,5	58,5	55,7	55,7	61,0	61,0	93,1	93,1		
w - Umidade	(%)	5,5	5,5	7,4	7,4	9,5	9,5	11,1	11,1	13,1	13,1		
Umidade Média	(%)	5,5		7,4		9,5		11,1		13,1			

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						Material Usado em Cada CP para Homogeneização			
Água Adic.	(g)	200	300	400	500	600	M _{úmida} (g)		5000
% Água Adic.	(%)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	Nº	Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	5,5	7,4	9,5	11,1	13,1	#	(cm)	(cm ³)
Nº do Molde	#	25	25	13	20	11	25		2083
M + S + A	(g)	8870	9140	9400	9380	9100	25		2088
M - Molde	(g)	5324	5324	5312	5360	5455	13		2087
S + A	(g)	3546	3816	4088	4020	3866	20		2085
γ úmida	(g/cm ³)	1,702	1,828	1,959	1,928	1,852	11		2087
γ seca	(g/cm ³)	1,613	1,702	1,789	1,735	1,638			

Curva de Compactação



Resumo

γ _{s,max} (g/cm ³)	1,782
W _{ótima} (%)	9,6

Observações Gerais:

Visto



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALM

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000

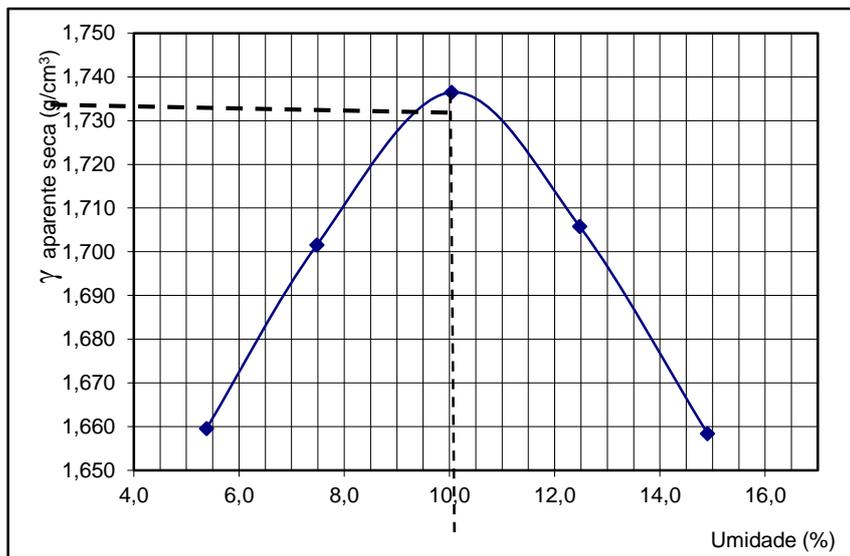


COMPACTAÇÃO SOLO + 20% RCC

Teor de Umidade											Umidade Higroscópica		
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
C + S + A	(g)	67,5	67,5	90,5	90,5	74,0	74,0	75,0	75,0	65,6	65,6		
C + S	(g)	64,9	64,9	85,4	85,4	69,1	69,1	68,6	68,6	59,4	59,4		
C - Cápsula	(g)	16,6	16,6	17,2	17,2	20,3	20,3	17,3	17,3	17,8	17,8		
A - Água	(g)	2,6	2,6	5,1	5,1	4,9	4,9	6,4	6,4	6,2	6,2		
S - Solo	C	48,3	48,3	68,2	68,2	48,8	48,8	51,3	51,3	41,6	41,6		
w - Umidade	(%)	5,4	5,4	7,5	7,5	10,0	10,0	12,5	12,5	14,9	14,9		
Umidade Média	(%)	5,4		7,5		10,0		12,5		14,9			

Dados de Compactação dos Corpos de Prova						Material Usado em Cada CP para Homogeneização			
Água Adic.	(g)	200	300	400	500	600			
% Água Adic.	(%)	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0			
Umidade Calc.	(%)	5,4	7,5	10,0	12,5	14,9			
Nº do Molde	#	17	15	7	11	17			
M + S + A	(g)	9010	9320	9520	9560	9360	17	5383	2087
M - Molde	(g)	5360	5507	5534	5554	5383	15	5507	2085
S + A	(g)	3650	3813	3986	4006	3977	7	5534	2086
γ úmida	(g/cm ³)	1,749	1,829	1,911	1,919	1,906	11	5554	2088
γ seca	(g/cm ³)	1,660	1,702	1,736	1,706	1,658	17	5383	2087

Curva de Compactação



Resumo

$\gamma_{s,max}$ (g/cm ³)	1,736
W _{ótima} (%)	10

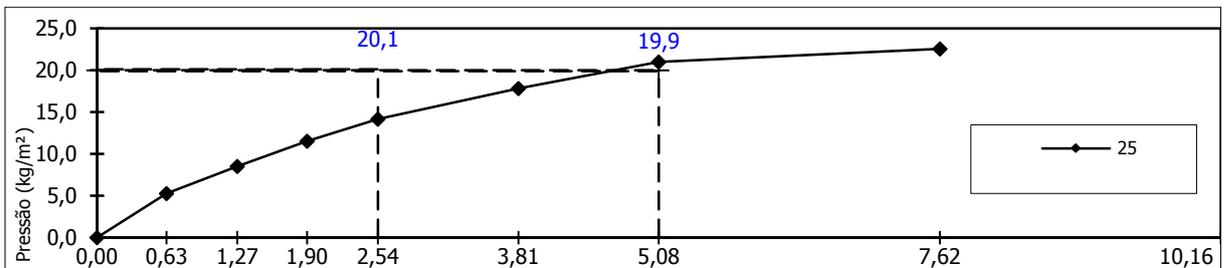
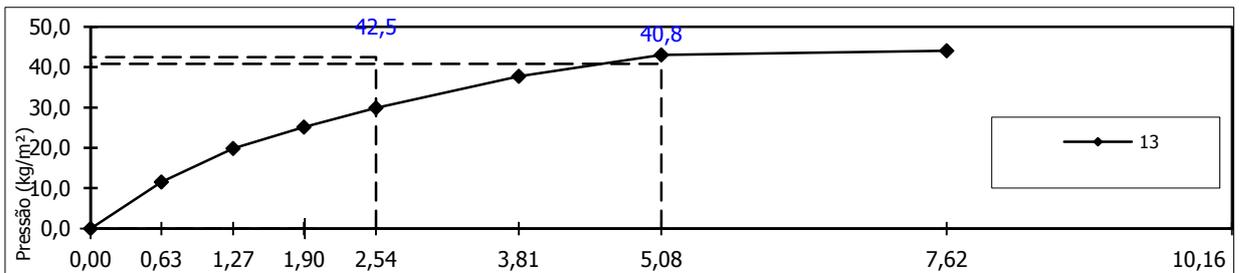
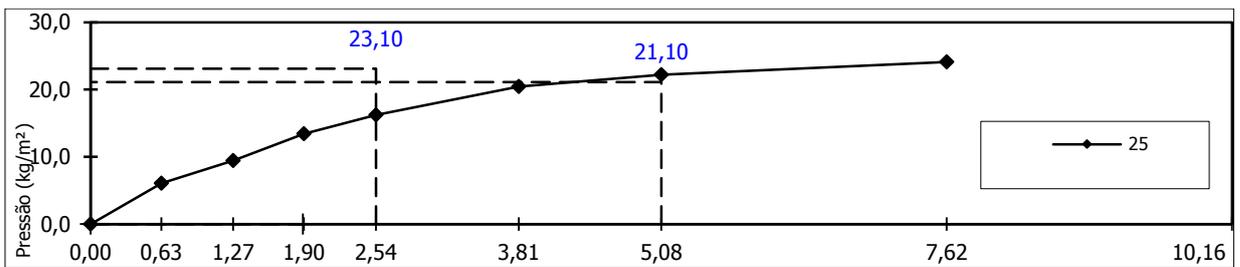
Observações Gerais:

Visto

CBR

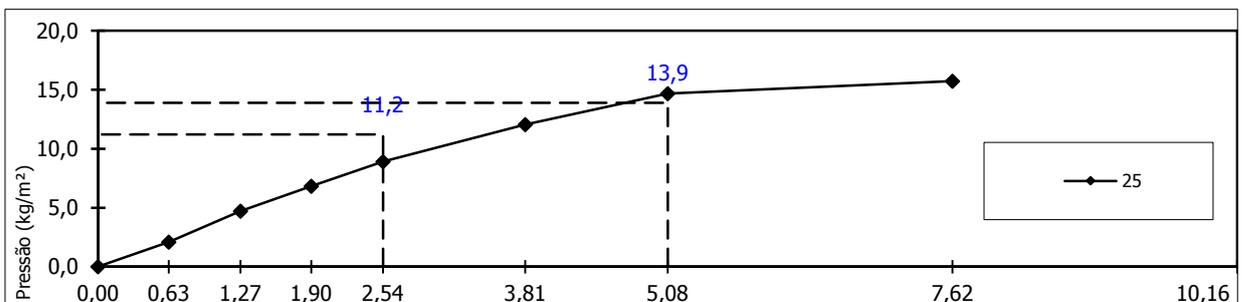
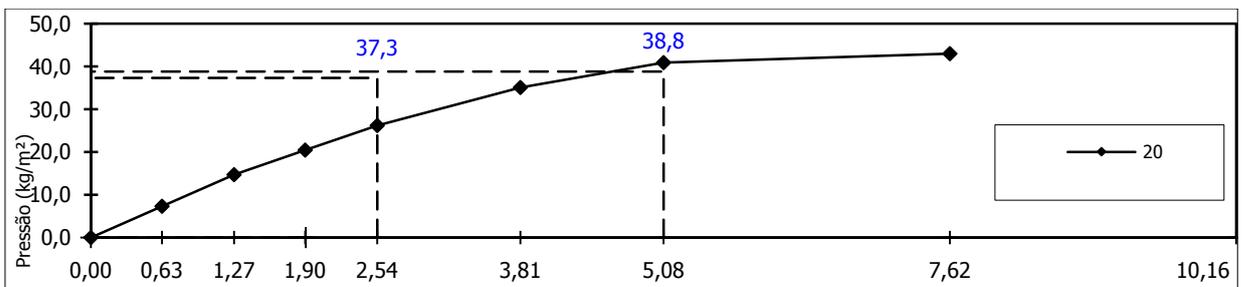
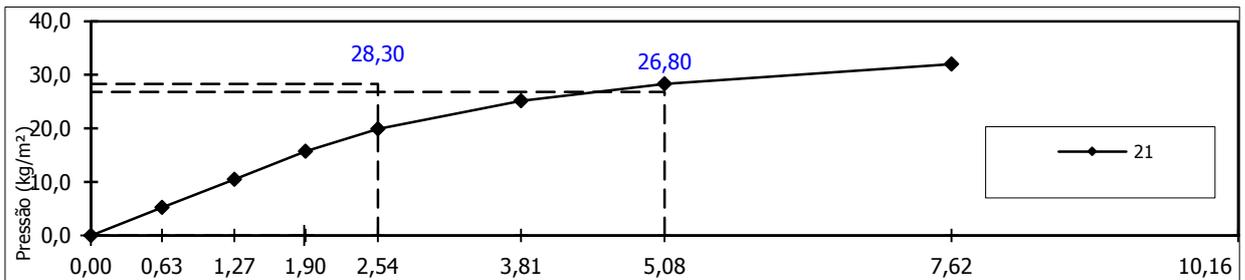
PENETRAÇÃO SOLO + 5% RCC

Tempo	Penetração	Pol.	Pressão Padrão	Molde	25			Molde	13			Molde	25			
					Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC		Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC		Leitura	Pressão Kg/m ²	ISC	
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	
0,0	0,00	0,000	-					0								
0,5	0,63	0,025	-	58	6,08			110	11,5			50	5,2			
1,0	1,27	0,050	-	90	9,44			189	19,8			81	8,5			
1,5	1,90	0,075	-	128	13,42			240	25,2			110	11,5			
2,0	2,54	0,100	70,31	155	16,25	16,3	23,1	285	29,9	29,9	42,5	135	14,2	14,2	20,1	
3,0	3,81	0,150	-	195	20,45			360	37,7			170	17,8			
4,0	5,08	0,200	105,46	212	22,23	22,2	21,1	410	43,0	43,0	40,8	200	21,0	21,0	19,9	
6,0	7,62	0,300	-	230	24,12			420	44,0			215	22,5			
8,0	10,16	0,400	-													
10,0	12,70	0,500	-													



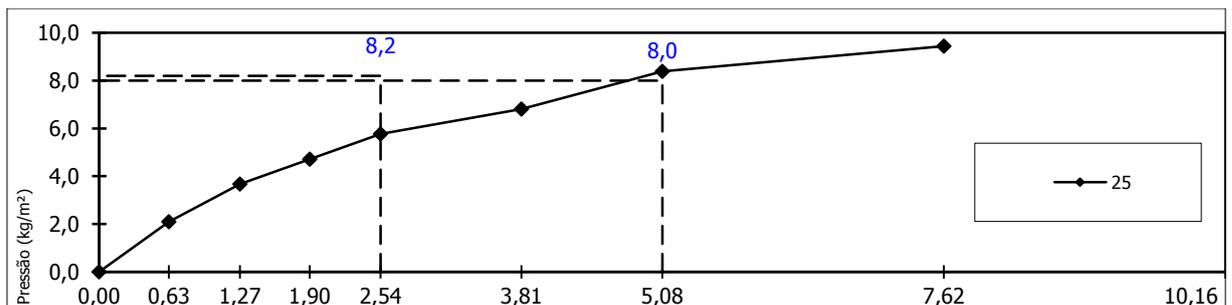
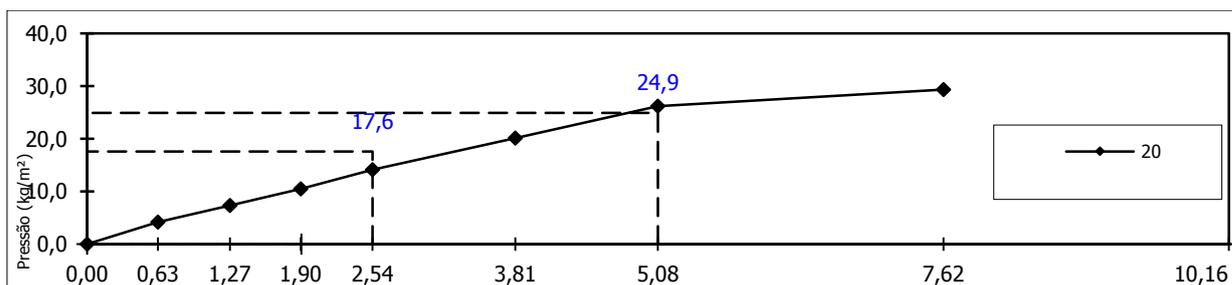
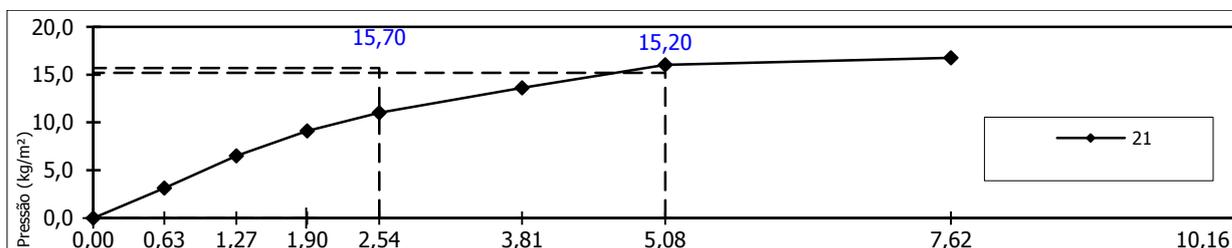
PENETRAÇÃO SOLO + 10% RCC

Tempo	Penetração		Pressão Padrão	Molde	21			Molde	20			Molde	25		
	Min.	mm			Pol.	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,0	0,00	0,000	-					0							
0,5	0,63	0,025	-	50	5,24			70	7,3			20	2,1		
1,0	1,27	0,050	-	100	10,49			140	14,7			45	4,7		
1,5	1,90	0,075	-	150	15,73			195	20,4			65	6,8		
2,0	2,54	0,100	70,31	190	19,92	19,9	28,3	250	26,2	26,2	37,3	85	8,9	8,9	12,7
3,0	3,81	0,150	-	240	25,16			335	35,1			115	12,1		
4,0	5,08	0,200	105,46	270	28,31	28,3	26,8	390	40,9	40,9	38,8	140	14,7	14,7	13,9
6,0	7,62	0,300	-	305	31,98			410	43,0			150	15,7		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												



PENETRAÇÃO SOLO + 15% RCC

Tempo	Penetração	Pol.	Pressão Padrão	Molde	21			Molde	20			Molde	25		
					Leitura	Pressão Kg/m ²			Leitura	Pressão Kg/m ²			Leitura	Pressão Kg/m ²	
						Calcul.	Corrig.			%	Calcul.			Corrig.	%
-	-	-	-	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%	mm	Calcul.	Corrig.	%
0,0	0,00	0,000	-					0							
0,5	0,63	0,025	-	30	3,15			40	4,2			20	2,1		
1,0	1,27	0,050	-	62	6,50			70	7,3			35	3,7		
1,5	1,90	0,075	-	87	9,12			100	10,5			45	4,7		
2,0	2,54	0,100	70,31	105	11,01	11,0	15,7	135	14,2	14,2	20,1	55	5,8	5,8	8,2
3,0	3,81	0,150	-	130	13,63			192	20,1			65	6,8		
4,0	5,08	0,200	105,46	153	16,04	16,0	15,2	250	26,2	26,2	24,9	80	8,4	8,4	8,0
6,0	7,62	0,300	-	160	16,78			280	29,4			90	9,4		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												



PENETRAÇÃO SOLO + 20% RCC

Tempo	Penetração	Pol.	Pressão Padrão	Molde	25			Molde	13			Molde	25		
				Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC	Leitura	Pressão Kg/m ²		ISC
					Calcul.	Corrig.			%	Calcul.			Corrig.	%	
-	-	-	-	mm				mm				mm			
0,0	0,00	0,000	-					0							
0,5	0,63	0,025	-	25	2,62			33	3,5			16	1,7		
1,0	1,27	0,050	-	50	5,24			70	7,3			30	3,1		
1,5	1,90	0,075	-	65	6,82			108	11,3			45	4,7		
2,0	2,54	0,100	70,31	85	8,91	8,9	12,7	140	14,7	14,7	20,9	55	5,8	5,8	8,2
3,0	3,81	0,150	-	105	11,01			170	17,8			65	6,8		
4,0	5,08	0,200	105,46	120	12,58	12,6	11,9	200	21,0	21,0	19,9	75	7,9	7,9	7,5
6,0	7,62	0,300	-	118	12,37			220	23,1			85	8,9		
8,0	10,16	0,400	-												
10,0	12,70	0,500	-												

