



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATEUS DE ARAÚJO BASTOS

Caracterização do subleito para pavimentação em paralelepípedos: estudo de caso na
UFERSA

Angicos/RN
(2019)

MATEUS DE ARAÚJO BASTOS

Caracterização do subleito para pavimentação em paralelepípedos: estudo de caso na UFERSA

Monografia apresentado ao Conselho do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para elaboração do Trabalho Final de Graduação.

Orientador: Andreza Kelly Costa Nobrega

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B327c Bastos, Mateus de Araujo .

Caracterização do subleito para pavimentação em paralelepípedos: estudo de caso na UFERSA / Mateus de Araujo Bastos. - 2019.

Orientadora: ANDREZA KELLY COSTA NOBREGA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2019.

1. caracterização do solo. 2. pavimentação. 3. cbr. I. NOBREGA, ANDREZA KELLY COSTA , orient.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas

da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MATEUS DE ARAUJO BASTOS

**CARACTERIZAÇÃO DO SUBLEITO PARA PAVIMENTAÇÃO EM
PARALELEPÍPEDOS: ESTUDO DE CASO NA UFERSA**

Trabalho Final de Graduação
apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 14 / 08 / 2019.

BANCA EXAMINADORA


Orientadora: Andreza Kelly Costa Nobrega Prof. Dr.^a (UFERSA)
Presidente


Janelly Kalline de Oliveira Ferreira, Prof.^a (UFERSA)
Membro Examinador


Deize Dalane Pinto Guilherme, Eng.^a (UFERSA)

Membro Examinador

*Primeiramente dedico á **Deus** que me dá força e saúde acima de tudo na vida.*

*Aos meus **Pais e familiares** que me apoiam e fornecem a base para estar nessa caminhada.*

Aos meus amigos que sempre estiveram junto a mim nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conceder saúde e força para estar nesse momento.

Agradeço aos meus pais Rivaldo Bastos de Medeiros, Eneide Pereira de Araújo Medeiros por me apoiarem no necessário para conseguir seguir nesse curso.

Agradeço a minha Avó Maria por sempre estar presente na minha vida me apoiando e torcendo por mim.

Agradeço a meu Avô Francisco por ser essa pessoa que sempre me alegra quando conversa comigo

Agradeço a meu primo Whallyson por ter sido o irmão que eu não tive e ter me ensinado muito.

Agradeço a todos os familiares, que sempre acreditaram em mim.

Agradeço a minha Orientadora por me guiar durante a fundamentação e construção deste trabalho.

Agradeço a Banca Examinadora por avaliar e mostrar críticas construtivas deste trabalho para não cometer os mesmos erros em trabalhos posteriores.

Agradeço especialmente aos que moram comigo Helvis Dias, Claudio Rafael, Joedson, Rodolpho, Niarkus, Luis Eduardo que conviveram comigo, que mesmo com nossas diferenças, somos os amigos.

Agradeço especialmente aos amigos que fiz durante o curso.

Agradeço a todos que contribuíram de certa forma para que eu pudesse ter chegado aqui.

“Você não pode ter medo de falhar. É a única maneira de ter sucesso”.

Lebron James (tricampeão da NBA)

RESUMO

Para desenvolver um pavimento que tenha boa durabilidade é necessário o uso de materiais adequados, que garantam estabilidade e resistência ao revestimento asfáltico. Baseado nisso e nas ocorrências patológicas do pavimento em paralelepípedo de Angicos/RN, foi analisado o solo da região, existente no subleito e o colchão de areia usado nesse tipo de pavimento urbano. Para concretização dos estudos, foram realizados ensaios de granulometria, limite de plasticidade, limite de liquidez, compactação e índice de suporte Califórnia (CBR). Observou-se que o solo da região apresenta características argilosas, tendo percentuais de finos e uma porcentagem elevada de ferro em sua composição química. O ensaio de índice de suporte Califórnia mostrou que esse material é expansivo em meio aquoso e que seu uso in natura no subleito pode desencadear problemas na camada de revestimento. O material arenoso apresentou características compatíveis com seu uso no pavimento em paralelepípedo, podendo ser usado após adequada compactação. Com isso, pode-se concluir que o solo da região de Angicos/RN precisa de algum procedimento para estabilizar e melhorar sua capacidade de suporte, pois seu uso in natura em pavimento é inadequado.

Palavras-chave: caracterização do solo.pavimentação. cbr

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVO ESPECIFICO	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	HISTORIA DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL.....	16
3.1.1	Pavimentação	17
3.1.2	Classificação do pavimento.....	18
3.1.3	Camadas do pavimento.....	20
3.1.4	Base.....	20
3.1.5	Sub-base	21
3.1.6	Reforço do subleito	21
3.1.7	Subleito	22
3.2	MATERIAIS USADOS EM CAMADAS ESTRUTURANTES DO PAVIMENTO 22	
3.3	PAVIMENTAÇÃO URBANA	28
3.3.1	Pavimento de paralelepípedos	29
3.3.2	Metodos para pavimento de paralelepípedos tradicional e bripar ...	30
4	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	31
4.1	FLUXOGRAMA	31
4.2	PROCEDIMENTOS	31
4.3	MATERIAIS ANALISADOS.....	32
4.4	ENSAIOS	33
4.4.1	Ensaio Granulométrico	33
4.4.2	Fr.....	36
4.4.3	Compactação	36
4.4.4	Limite de liquidez(LL) NBR 7180	37
4.4.5	Limite de plasticidade (LP) NBR 7180	39
4.4.6	Ensaio de CBR- Índice de Suporte Califórnia NBR 9895	40
5	RESULTADOS	42
6	CONCLUSÃO	44
	REFERENCIAS	46
7	ANEXO.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Base aérea de Natal	15
Figura 2 – Tipos de pavimentos	16
Figura 3 – Esforço em um pavimento rígido	17
Figura 4 – Esforço em um pavimento flexível	18
Figura 5 – Brita Graduada.....	23
Figura 6 – Solo Brita.....	23
Figura 7 – Solo Macadame.....	24
Figura 8 – Areia com muito pedregulho	25
Figura 9 – Solo Laterítico.....	26
Figura 10 – Amostra de solo 1	31
Figura 11 – Amostra de solo 2	31
Figura 12 – Peneiras e Agitador.....	32
Figura 13 – Cilindro proctor, soquete, bandeja e recipiente para amostras.....	35
Figura 14 – Aparelho de Casa grande	36
Figura 15 – Conjunto de dispositivos para a determinação do Limite de Plasticidade (LP).....	38
Figura 16 – Ensaio CBR.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica- Solo 1.....	33
Gráfico 2 – Curva granulométrica- Solo 2.....	33
Gráfico 3 – Compactação do solo 1.....	36
Gráfico 4 – Limite de liquidez.....	38
Gráfico 5 – Curva pressão x penetração	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esquema para classificação pelo Sistema unificado	34
Tabela 2 – Limite de plasticidade	39

1 INTRODUÇÃO

Desde tempos atrás a humanidade vem a necessidade de obter melhor acesso às áreas que eram cultiváveis, e também as áreas que eram fontes de matérias prima como madeiras, rochas e água. Além de expandir os seus territórios.

A pavimentação de vias aparece sendo uma alternativa a melhoria das condições de trafegabilidade de veículos e pessoas, oferecendo mais conforto e segurança a seus usuários. Em um mundo globalizado, independente do tamanho da cidade e sua população, é necessário haver vias pavimentadas para se locomover de forma mais confortável.

Mesmo com a necessidade da pavimentação, segundo Carvalho(2011), na maioria das cidades brasileiras de pequeno porte geralmente a execução das vias urbanas são desprovidas de um estudo da região, planejamento e dimensionamento, esta situação ocasiona a menor vida útil dos pavimentos , alto custo de manutenção e maior degradação ambiental.

Segundo BERNUCCI (2006) o pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas construídas sobre terraplanagem e destinada, técnica e economicamente, a resistir aos esforços originados pelo tráfego. Já Balbo (2007), define pavimento como sendo uma estrutura não constante, constituída de várias camadas de diferentes materiais compactados, de forma a atender estrutural e operacional o tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível.

Os pavimentos são classificados em rígidos e flexíveis. O mesmo é constituído por camadas: subleito, reforço do subleito, sub-base, base. Nessas camadas do pavimento podem ser utilizados materiais como: brita graduada simples, macadame hidráulico, macadame seco, solo agregado, rachão, dentre outros materiais . O uso desses materiais são de acordo com a necessidade da carga da via e a disponibilidade na região. Motta et al. (2008).

Tendo em vista a importância da pavimentação urbana para as cidades, este trabalho terá como foco a caracterização do subleito presente

no Município de Angicos/RN, observando suas propriedades e adequação para receber o pavimento em paralelepípedo.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o tipo de solo existente no subleito da região de Angicos e a areia usada como base no pavimento em paralelepípedo.

2.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Analisar a composição química do solo existente no subleito da região de Angicos/RN e do solo arenoso usado como base.
- Determinar a granulometria dos materiais em estudo
- Analisar o limite de liquidez e plasticidade do solo presente no subleito, observando seu potencial argiloso.
- Verificar a capacidade de suporte e estabilidade dos solos em estudo, através do ensaio de CBR.
- Avaliar se os solos estão adequados para uso em pavimentação urbana

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 HISTORIA DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL

Segundo o DNIT (2006) a origem da primeira Estrada de Rodagem do Brasil, maior obra de engenharia na América Latina em seu tempo, deu-se a 7 de agosto de 1852, quando o visionário Mariano Procópio obteve, graças ao decreto do governo imperial n.º 1.301, a autorização para a construção, melhoramento e conservação de duas linhas de estradas. O empreendimento, considerado por muitos como impossível de ser realizado, foi iniciado em 12 de abril de 1856, com a presença e o incentivo de D. Pedro II. A primeira estrada macadamizada do continente pôde ser concluída a 23 de julho de 1861. Nascia, assim, a rodovia União Indústria, com 144 km de extensão, sendo 96 km no estado do Rio de Janeiro e 48 km em Minas Gerais, construída por engenheiros alemães.

Segundo o DNIT (2006) a primeira lei a conceder auxílio federal para construção de estradas foi aprovada em 1905. Mas só a partir de 1920 um órgão público, a Inspetoria Federal de Obras contra as Secas, passou a cuidar da implantação de rodovias. Ainda assim, apenas no Nordeste, e sem ter uma finalidade especificamente rodoviária. Neste ponto, São Paulo saiu na frente, ao criar, em 1926, a Diretoria de Estradas de Rodagem, que resultaria, em 1934, no Departamento de Estradas de Rodagem: o primeiro órgão rodoviário brasileiro com autonomia técnica e administrativa.

Como mostra o DNIT (2006) desde tempos atrás a construção das estradas está ligada diretamente com o desenvolvimento da população. No Brasil começou apenas efetivamente a abertura das malhas rodoviárias a partir da década de 50 com o advento das fábricas de automóveis e do automóvel propriamente dito, inclusive com aquele lema “governar é abrir estradas” dizia o presidente Washington Luís.

Segundo Bernucci (2006) em 1937 o então presidente, Getúlio Vargas, criou o Departamento Nacional de Estrada de Rodagens (DNER). De

acordo com o autor na década de 1940 houve um avanço das rodovias através da tecnologia americana.

No Rio Grande do Norte o grande avanço da pavimentação se deu através da escolha de Parnamirim como base para os exércitos americanos, sendo a pavimentação da Base Aérea de Natal uma das primeiras executadas no estado, conforme mostra a figura 1. (PEIXOTO, 2003).

Figura 1 :Base aérea de Natal



Fonte: Uninassau

3.1.1 Pavimentação

Segundo BERNUCCI (2006) o pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas construídas sobre terraplanagem e destinada, técnica e economicamente, assim resistindo aos esforços originados pelo tráfego. Já Balbo, define pavimento como uma estrutura não constante, constituída de várias camadas de diferentes materiais compactados, de forma a atender estrutural e operacional o tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível.

De acordo com o DNIT (2006) o pavimento de uma rodovia é uma superestrutura constituída por camadas finas, compactada sobre um subespaço considerado teoricamente como infinito em relação às estruturas superiores, ao qual denomina-se de subleito.

O pavimento é constituído por camadas: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento. Nessas camadas pode ser utilizado materiais como: brita graduada simples, macadame hidráulico, macadame

seco, solo agregado, rachão, dentre outros . O uso desses materiais são de acordo com a necessidade da via e a disponibilidade na região. (ODA,2016)

3.1.2 Classificação do pavimento

De acordo com Senço(2007) o pavimento é uma estrutura constituída de diversas camadas e podem ser classificado em: pavimentos rígidos e flexíveis . Para melhor entender segue a figura 2 mostrando as camadas que esses tipos de pavimentos possuem.

Figura 2 : Tipos de pavimentos

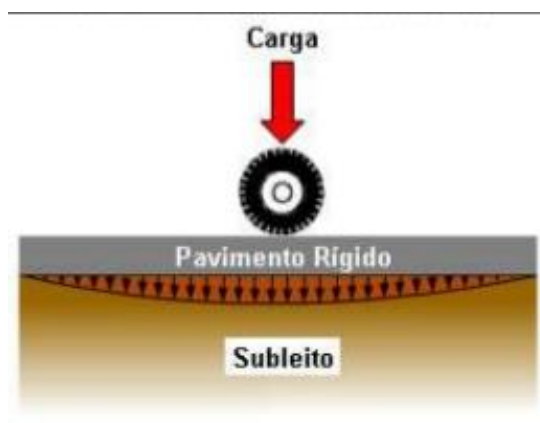


Fonte: Marcelo Almeida (2016)

Pavimentos rígidos: São aqueles com pouca deformação, constituídos principalmente de concreto de cimento e rompem por tração na flexão quando sujeitos a deformação. O modelo de pavimentação rígida baseia-se na implementação de cimento como aglomerante hidráulico para interligação dos agregados envolvidos no concreto. Sendo a placa de cimento seu principal componente estrutural. (Marcelo Almeida, 2016)

Segundo Balbo (2007), é o pavimento no qual uma camada, absorvendo grande parcela de esforços horizontais solicitantes, acaba por gerar pressões verticais aliviadas e bem distribuídas sobre as camadas inferiores assim como mostra a figura 3.

Figura 3: Esforço em um pavimento rígido

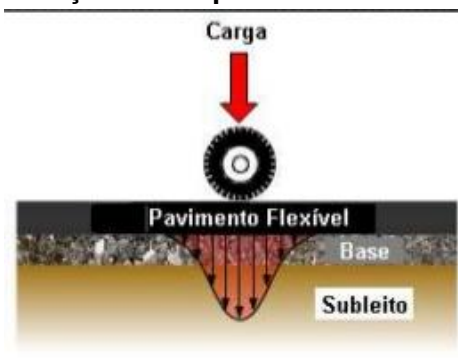


Fonte: Marcelo Almeida (2016)

O pavimento rígido tem uma maior durabilidade e resiste às ações do tempo, sem precisar de manutenção e com o tempo ele vai ganhando mais resistência. Compondo sua estrutura basicamente de Sub-Base – Pouca contribuição Estrutural – Controle de bombeamento / expansão / contração – Concreto de Cimento. (Marcelo Almeida, 2016)

Pavimentos flexíveis: são aqueles em que as deformações até certo limite não levam ao rompimento, são dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, seus esforços são distribuídos verticalmente. O aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, levam a deformações permanentes e ao rompimento por fadiga. Como mostra a figura 4 .E é constituído principalmente de materiais betuminosos. Sua base pode ser composta por diversas camadas, como subleito, sub-base, base e revestimento. (Marcelo Almeida, 2016).

Figura 4: Esforço em um pavimento flexível



Fonte: Marcelo Almeida (2016)

Segundo Balbo (2007), é o pavimento no qual a absorção de esforços dá-se de forma dividida entre várias camadas, encontrando-se as tensões verticais em camadas inferiores, concentradas em região próxima da área de aplicação da carga.

3.1.3 Camadas do pavimento

Segundo Balbo (2007) o pavimento é formado de forma bem dividida, e tem cinco camadas, revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, sendo esta última parte integrante da estrutura, pois é a fundação parte estruturante do pavimento.

Segundo o (DNIT, 2006) O método é baseado na capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes do pavimento, pelo CBR. Os materiais utilizados no pavimento podem ser classificados em:

- Materiais para reforço do subleito, os que apresentam:
C.B.R. maior que o do subleito
Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)
- Materiais para sub-base, os que apresentam:
C.B.R. $\geq 20\%$
I.G. = 0
Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lbs)
- Materiais para base, os que apresentam:
C.B.R. $\geq 80\%$
Expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 lbs)
Limite de liquidez $\leq 25\%$
Índice de plasticidade $\leq 6\%$

3.1.4 Base

É a camada mais importante da estrutura do pavimento, pois fica localizada logo abaixo do revestimento do pavimento, seja rígido ou flexível, pois será responsável pelo suporte estrutural do pavimento tendo que dissipar as cargas para as próximas camadas, reduzindo sua intensidade. Caso a qualidade da base não seja boa será muito provável que aconteça algum dano a esse pavimento. Marques (2006).

Segundo Senço (2007) a base é uma camada a resistir aos esforços verticais originados do tráfego e distribuí-los. O pavimento pode ser considerado como sendo um composto de base e revestimento, a base pode ou não ser complementada com a sub-base e pelo reforço do subleito.

3.1.5 Sub-base

De acordo com Senço (2007) a sub-base é a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir uma base diretamente sobre a regularização ou subleito.

Segundo a INSTRUÇÃO DE PROJETO, do Departamento de Estradas de Rodagem de janeiro de 2006: Os solos, misturas de solos, solos estabilizados quimicamente, materiais pétreos ou misturas de solos quando empregados na camada de sub-base do pavimento devem apresentar as seguintes propriedades geotécnicas: - capacidade de suporte, ISC, superior ou igual a 30%; - expansão máxima de 1%.

3.1.6 Reforço do subleito

Balbo (2007) afirma que quando o subleito é constituído por um solo cujo as propriedades de engenharia não atinge o necessário, é preciso uma camada de solo de melhor qualidade que possa melhorar suas propriedades, essa camada de solo pode ser denominada de reforço do subleito.

O emprego de camada de reforço de subleito não é obrigatório, pois espessuras maiores de camadas superiores poderiam, em tese, aliviar as pressões sobre um subleito medíocre. Contudo, procura-se utilizá-lo em tais circunstâncias por razões econômicas, pois subleito de resistência baixa exigiriam, para alguns tipos de pavimentos (especialmente aos flexíveis), do ponto de vista de projeto, camadas mais espessas de base e sub-base. Logicamente, o reforço de subleito por sua vez resistirá a solicitações de maior ordem de grandeza, respondendo parcialmente pelas funções do subleito e exigindo menores espessuras de base e sub-base sobre si, sendo em geral menos custoso o emprego de solos de reforço, em vez de maiores espessuras de camadas granulares ou cimentadas quaisquer que sejam (BALBO, 2007).

3.1.7 Subleito

Quanto ao subleito, os esforços impostos sobre sua superfície serão aliviados em sua profundidade (normalmente se dispersam no primeiro metro). Deve-se, portanto, ter maior preocupação com seus estratos superiores, onde os esforços solicitantes atuam com maior importância. O subleito será formado de material natural consolidado e compactado (BALBO, 2007). A camada de melhoria e preparo do subleito deve apresentar as seguintes características, segundo a INSTRUÇÃO DE PROJETO, do Departamento de Estradas de Rodagem de janeiro de 2006:

A capacidade de suporte medida pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC) superior ou igual à 2%; expansão máxima de 2%; grau de compactação mínimo de 100% do Proctor Normal. Para solos finos lateríticos ou para solos granulares pode ser utilizada a energia de 100% do Proctor Intermediário.

3.2 MATERIAIS USADOS EM CAMADAS ESTRUTURANTES DO PAVIMENTO

Entende-se por materiais granulares aqueles que não possuem coesão (a não ser aparente pela sucção) e que não resistem à tração, trabalhando eminentemente aos esforços de compressão. Os solos coesivos resistem à compressão, principalmente, e também à tração de pequena magnitude, graças à coesão dada pela fração fina. Os materiais cimentados são materiais granulares ou solos que recebem adição de cimento, cal ou outro aditivo, de forma a proporcionar um acréscimo significativo de rigidez do material natural e um aumento da resistência à compressão e à tração (Motta et al. 2008).

Segundo Motta et al. (2008) os materiais mais empregados em pavimentação da classe dos granulares e solos são: brita graduada simples (BGS) e bica ou brita corrida; macadame hidráulico; macadame a seco; misturas estabilizadas granulometricamente (estabilizadas por combinação de materiais para atender certos requisitos ou mecanicamente); solo-agregado; solo natural; solo melhorado com cimento ou cal.

Concreto de cimento são placas de concreto, separadas por juntas transversais e longitudinais. O concreto é lançado e depois vibrado por meio de placas vibratórias e/ou vibradores especiais. Em um pavimento rígido esta camada tem as funções de base e revestimento e será estudada no capítulo sobre pavimentos rígidos Marques (2006).

Concreto compactado com Rolo(CCR) é um concreto com baixo teor de cimento, consistência seca e trabalhabilidade que permite o adensamento por rolos compressores .(Motta et al. 2008)

Segundo Marques (2006). Esse concreto compactado com rolo(CCR) possui baixo consumo de cimento, pouco material fino, transporte por betoneira ou caminhão basculante (produção próxima à obra), especificado pela resistência à tração na flexão ou compressão, consistência seca e Adensado com rolo compressor

Solo- cal tem uma estabilização química de solo com cal segue os mesmos objetivos da mistura com cimento, seja para o enrijecimento, seja para a trabalhabilidade e redução da expansão e tem um tempo maior de cura. O solo-cal, aplicado preferencialmente a solos argilosos e siltosos caulínicos, tem sido utilizado principalmente como reforço de subleito ou sub-base . Motta et al. (2008).

Macadame Cimentado é uma camada de brita que é espalhada sobre a pista e sujeita a uma compressão, com o objetivo de diminuir o número de vazios, tornando a estrutura mais estável. Logo após é lançada uma argamassa de cimento e areia que penetra nos espaços vazios ainda existentes. Motta et al. (2008).

Solo-cimento é uma mistura de solo, cimento Portland e água, devidamente compactada, resultando um material duro, cimentado e de elevada rigidez à flexão. A porcentagem de cimento varia de 5 a 13% e depende do tipo de solo utilizado. Solos argilosos exigem porcentagens maiores de cimento. O resultado da dosagem é a definição da quantidade de solo, cimento e água de modo que a mistura apresente características adequadas de resistência e durabilidade. A dosagem requer a realização de alguns ensaios de laboratório, sendo a resistência à compressão axial o parâmetro mais utilizado . Motta et al. (2008).

O solo, para ser estabilizado com cimento de forma econômica, deve ter certa proporção de areia, pois caso tenha um percentual muito alto de argila pode exigir um teor muito elevado de cimento e ficar demasiadamente oneroso, além de apresentar muita retração. A faixa viável é de aproximadamente 5 a 9% de cimento em relação à massa total. O solo-cimento deve ser feito de preferência em usina, mas também pode ser misturado em pista, no caso de vias de baixo volume de tráfego. Deve ser compactado imediatamente após a mistura e a distribuição em pista devido à rapidez da reação de hidratação do cimento . Motta et al. (2008).

Brita graduada é a mistura de duas ou mais britas (uniformes) visando obter-se a faixa granulométrica especificada, Também encontramos a designação “bica corrida” que é uma graduação da brita corrida, porém todo o material proveniente da britagem é passado através de uma peneira com malha de um diâmetro máximo. Motta et al. (2008).

Segundo (ODA,2016) brita graduada é um material bem graduado com diâmetro nominal máximo de 38mm, porém é mais usual com diâmetros nominais menores, mais possui poucos finos passantes na peneira #200 conforme a figura 5. Geralmente apresenta índice de 17 suporte Califórnia (CBR) maior que 60% e expansão nula ou muito baixa. A distribuição do material deverá ser realizada preferencialmente com vibroacabadora e ser compactada logo após o espalhamento do material na pista. (ODA,2016)

Figura 5: Brita Graduada



Fonte: Empresa Areia e Pedra

Solo Brita é uma mistura de material natural e pedra britada de acordo com a figura 6. Usado quando o solo disponível (geralmente areno-argiloso) apresenta deficiência de agregado graúdo (retido na # 10). A pedra

britada entra na mistura para suprir esta deficiência, aumentando as características de resistência do material natural.

Figura 6 :Solo brita



Fonte: jornalintegracao

Solo Macadame

O macadame hidráulico foi um dos materiais mais empregados nas primeiras rodovias brasileiras, com base na experiência inglesa de McAdam do início do século XIX. Trata-se de camada granular, composta por agregados graúdos, naturais ou britados, cujos vazios são preenchidos em pista por agregados miúdos e aglutinados pela água, no caso específico do macadame hidráulico de acordo com a figura 7. A estabilidade é obtida pela ação mecânica enérgica de compactação. Sua execução consiste no espalhamento de uma camada de brita de graduação aberta que é compactada para a redução dos espaços vazios. Em seguida espalha-se uma camada de pó de pedra sobre esta camada com a finalidade de promover o preenchimento dos espaços vazios deixados pela brita. Para facilitar a penetração do material de preenchimento, molha-se o pó de pedra (também pode ser usado solo de granulometria e plasticidade . Motta et al. (2008).

Figura 7: Solo Macadame



Fonte : Motta et al. (2008).

Macadame Betuminoso por penetração consiste do espalhamento do agregado, de tamanho e quantidades especificadas, nivelamento e compactação. Em seguida é espalhado o material betuminoso que penetra nos vazios do agregado, desempenhando a função de ligante. Todas estas operações são executadas na própria pista. A base feita por meio de macadame betuminoso é chamada de base negra. Motta et al. (2008).

O macadame seco é um material granular com muita semelhança ao macadame hidráulico, porém sem uso de água para auxílio do preenchimento dos agregados graúdos pelos miúdos. Em geral, os agregados graúdos são de dimensões bastante significativas, chamadas de “pedra pulmão”, com tamanho variando entre 2” e 5”, de graduação uniforme, e preenchidos por agregados miúdos compreendidos em 5 diferentes faixas. A distribuição e compressão são semelhantes ao macadame hidráulico Motta et al. (2008).

Segundo Motta et al. (2008) Solo-agregado são misturas naturais ou preparadas de britas, pedregulhos ou areia predominantemente, contendo silte e argila – material natural (solo) que passa na peneira nº 200 (AASHTO M 146-70, 1986). É possível subdividir os solos-agregados em três tipos distintos dependendo da proporção relativa entre a parte graúda e a parte fina.

Areias e pedregulhos (solos de comportamento arenoso) são solos de granulação grossa, com grãos de formas cúbicas ou arredondadas , constituídos principalmente de quartzo(sílica pura, como mostra a figura 8. Seu comportamento geral pouco varia com a quantidade de água que envolve os grãos. São solos fundamentalmente de entrosamento e atrito entre os grãos e da pressão normal (á direção da força de deformação) que atua sobre o solo. Motta et al. (2008).

Figura 8: Areia com muito pedregulho



Fonte :areiasalbimar

O solo arenoso fino laterítico (SAFL) é uma mistura de argila e areia encontrada na natureza ou artificialmente composta por mistura de areia de campo ou rio com argila laterítica. A partir da década de 1970, seu emprego foi mais difundido, chegando hoje, somente no estado de São Paulo, a mais de 8.000km em rodovias de baixo volume de tráfego com a utilização desse material como base. Como reforço do subleito ou como sub-base, pode ser usado em pavimentos para tráfegos médios ou pesados. Suas cores variam do amarelo ao vermelho mais ou menos escuro e mesmo ao negro conforme a figura 9. Motta et al. (2008).

Figura 9: Solo Laterítico



Fonte: depositphotos

3.3 PAVIMENTAÇÃO URBANA

Segundo Júnior (1992), os pavimentos urbanos são constituídos por estruturas que apresentam diversas camadas com espessuras específicas e executadas após a regulagem do terreno. As estruturas e o revestimento tem como finalidade de resistir aos esforços verticais, além de propiciar conforto, segurança e economia.

Os pavimentos urbanos no Brasil sofreram um acentuado impulso, desde a promulgação da constituição em 1988, dada a melhor organização dos municípios brasileiros, bem como pelo início de destinação de verba, pelo governo federal, para as prefeituras executarem obras de infraestrutura (PREGO, 2001).

De acordo com o manual da pavimentação urbana, com o desenvolvimento nas cidades foram surgindo naturalmente as necessidades de expansão das áreas urbanas habitáveis, aparecendo assim, conseqüentemente, a crescente demanda por serviços públicos de infraestrutura, tais como saneamento básico, drenagem urbana, pavimentação e fornecimento de energia elétrica. Na área da pavimentação uma das técnicas empregadas até os dias de hoje em cidades de pequeno porte é a pavimentação com paralelepípedos que é de fácil manuseio e economicamente viável atendendo as especificações das vias onde estão empregados. A rede de vias urbanas é um dos componentes principais de qualquer sistema de infraestrutura municipal e, ainda assim, é relativamente recente a preocupação dos administradores públicos com a sistematização de procedimentos para a gerência do sistema viário.

Segundo Sandra Bertollo (1997), nas cidades brasileiras de pequeno porte, não tem dada a importância devida às fases de planejamento, dimensionamento e execução das estruturas de pavimento, fazendo com que grande parte das vias apresentem um elevado e precoce grau de deterioração devido às reduções em orçamentos que os administradores públicos tem enfrentado inúmeros problemas na difícil tarefa de gerenciar a infraestrutura desses municípios com a falta de recursos.

Mesmo com a necessidade da pavimentação segundo Carvalho(2011), a pavimentação na maioria das cidades brasileiras de pequeno porte geralmente a execução das vias urbanas são desprovidas de um estudo da região, planejamento e dimensionamento, esta situação ocasiona a menor vida útil dos pavimentos , alto custo de manutenção e maior degradação ambiental.

3.3.1 Pavimento de paralelepípedos

Segundo o engenheiro Claudio da costa, da Tecpar Pavimentação Ecológica, o paralelepípedo, pode ser utilizado em ruas periféricas, postos de combustíveis, pátios industriais e condomínios, locais que não precisam de um monitoramento frequente das condições do pavimento.

Segundo o site inovações brasileiras o método desenvolvido no Rio Grande do Norte é o pavimento Bripar (Brita + Paralelepípedo) deve ser entendido como as lajes monolíticas rígidas aos esforços tangenciais e semi-flexíveis, provenientes da associação da brita graduada com o paralelepípedo, compactado mecanicamente. O paralelepípedo e a brita são materiais de uso comum, mas que nunca haviam sido associados para constituírem pavimento em que se usa o asfalto como elemento catalisador, isto é, fazendo parte do pavimento, assegurando a longevidade, pelas três propriedades que lhes são comuns: é aglutinante unindo as britas entre si e ao paralelepípedo, é impermeabilizante, garantindo a estabilidade da base, não permitindo a entrada de água e nem a desconcentração dos materiais e finalmente é plástico o suficiente para permitir, em pequenos movimentos à adaptação do pavimento, mantendo as principais características já observadas.

Segundo a norma do DNIT(2006) o revestimento de paralelepípedo são constituídos por blocos regulares e assentados sobre um colção de regularização de material granular apropriado, as juntas entre os paralelepípedos podem ser tomadas com o próprio material do colchão de regularização , pedrisco , materiais betuminosas ou argamassa de cimento Portland.

Entretanto, o material que compõe as camadas estruturantes até o colchão de areia que irá receber esses paralelepípedos devem ter uma compactação boa e ser um material adequado para a demanda de trânsito que irá transitar por aquele local. Quando não há uma boa compactação esse revestimento apresenta algumas patologias que prejudicam a locomoção de veículos e pessoas, as principais patologias que aparecem são os ondamentos, afundamentos e buracos causados pelo desprendimento dos paralelepípedos. RIBEIRO (2017)

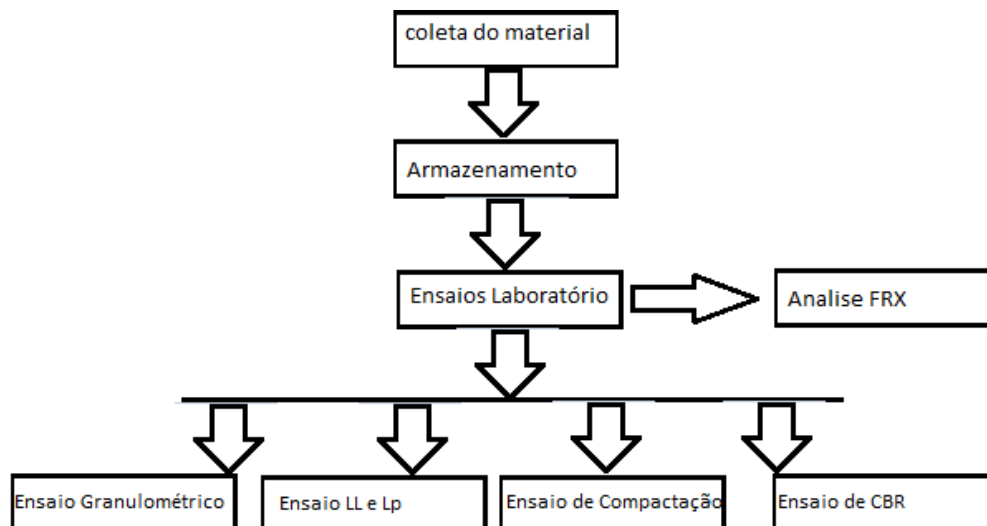
3.3.2 Métodos para pavimento de paralelepípedos tradicional e bripar

Segundo a construtora CLC nas áreas urbanas, principalmente nos diversos municípios do Rio Grande do Norte, a pavimentação a paralelepípedos é bastante comum em ruas e avenidas onde o trânsito permite e onde há material disponível para a utilização. A pavimentação a paralelepípedo consiste basicamente em assentar-se paralelepípedos devidamente rejuntados, de acordo com o método empregado, sobre colchão de areia limpa e isenta de matérias orgânicas.

Segundo CLC os dois principais métodos para a execução da pavimentação a paralelepípedo são: Método Convencional e Método Bripar. diferem basicamente na forma e nos materiais utilizados para execução do rejuntamento dos paralelepípedos. Pelo Método Convencional as juntas do pavimento são preenchidas com argamassa de cimento e areia no traço 1:3. Já o Método Bripar consiste em preencher as juntas com brita e cascalho e utilizando-se material betuminoso, preferencialmente Emulsão Asfáltica RR-2C, para unir a brita com o cascalho e os paralelepípedos.

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1 FLUXOGRAMA



4.2 PROCEDIMENTOS

Inicialmente foi feito um embasamento teórico através de livros, artigos e revistas voltado para a área da pavimentação urbana com foco no solo usado como subleito da região e do solo arenoso da base. Após fazer todo um estudo bibliográfico sobre o assunto, foi feita a coleta dos materiais com auxílio de sacos de náilon e pás. Após a coleta, o material foi armazenado em sacos de náilon e estocado no laboratório da Ufersa campus Angicos-RN.

Já em laboratório foi realizado alguns ensaios com o solo, sendo o material da região existente no subleito. Para melhor caracterizar o material em estudo, foi identificada sua granulometria através do ensaio de peneiras e sua composição química através do ensaio de FRX. A estabilidade dos solos e capacidade de suporte, avaliadas através do ensaio de CBR (índice de suporte califórnia) e de compactação. Para a concretização total desses ensaios foi realizada uma parceria com laboratório de outra universidade federal.

Após todos ensaios realizados e com a obtenção dos resultados em mãos, estes dados foram analisados a fim de verificar se a aplicação do solo existente na região no subleito e base de pavimentação urbana está adequada.

4.3 MATERIAIS ANALISADOS

Solo com característica argilosa encontrado no subleito da Região de Angicos/RN. Apresenta capacidade de formação de grumos em sua estrutura, precisando destorroar as partículas para os ensaios de caracterização. Inicialmente sua umidade foi retirada em estufa por 24h, temperatura de 100°C. Está sendo armazenado em sacos conforme segue na figura 10.

Figura 10: Amostra de solo 1



Fonte: Autoria Própria

O solo arenoso é proveniente de rio, foi colocado em estufa por 24h para retirar sua umidade e permaneceu armazenado em sacos fechados de acordo com a figura 11.

Figura 11: Amostra de solo 2



Fonte: Autoria Própria

A água usada nos ensaios é proveniente da rede de abastecimento, não houve tratamento específico.

4.4 ENSAIOS

4.4.1 Ensaio Granulométrico

Para a realização do ensaio granulométrico foi utilizado a norma NBR 7217. Esse ensaio tem como objetivo descobrir qual granulometria do solo em análise. Primeiramente após colocar esse solo na estufa por 24 horas com 100 graus celsius, após retirar da estufa foi feito a desagregação do solo que estava em grumos, posteriormente foi pesado cerca de 200g de material e colocado nas peneiras e levado para o peneirador. A sedimentação não foi realizado, devido a falta de equipamentos necessários no laboratório. Este ensaio se repetiu 2 vezes para cada material, tendo como resultado final a média dos resultados. A figura 12 mostra as peneiras empilhadas no agitador mecânico para realização do ensaio.

Figura 12: Peneiras e Agitador



Fonte: Autoria própria

Após obter o peso do material que passa em cada peneira, foi plotado um gráfico com a porcentagem de material que passa, na ordenada, e

o tamanho das partículas (mm), na abscissa, dando origem à curva granulométrica.

Os gráficos 1 e 2 mostram as curvas granulométricas de cada amostra de solo.

Gráfico 1 - Curva granulométrica- Areia Media com muitos finos

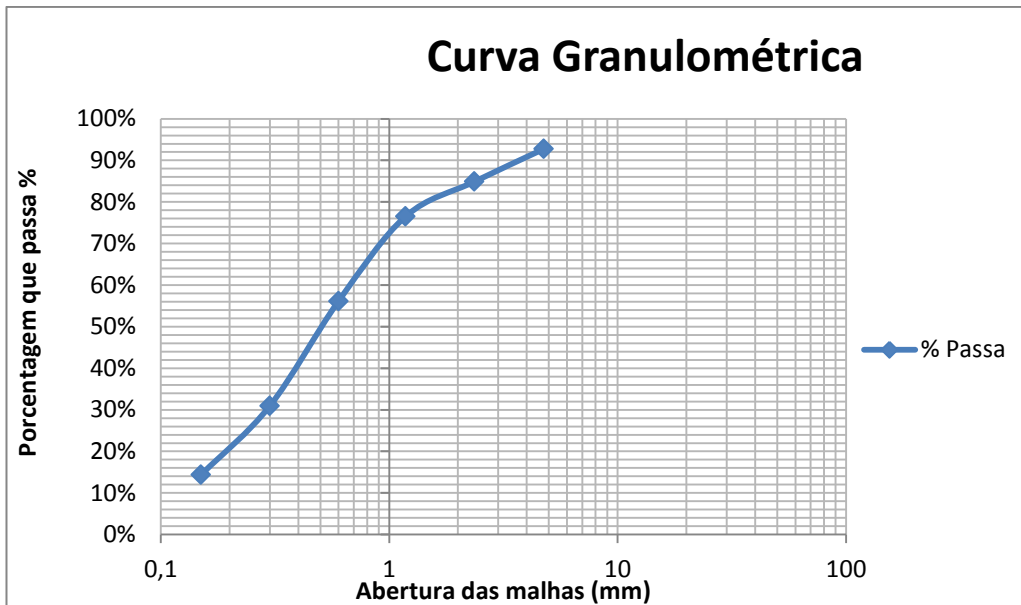
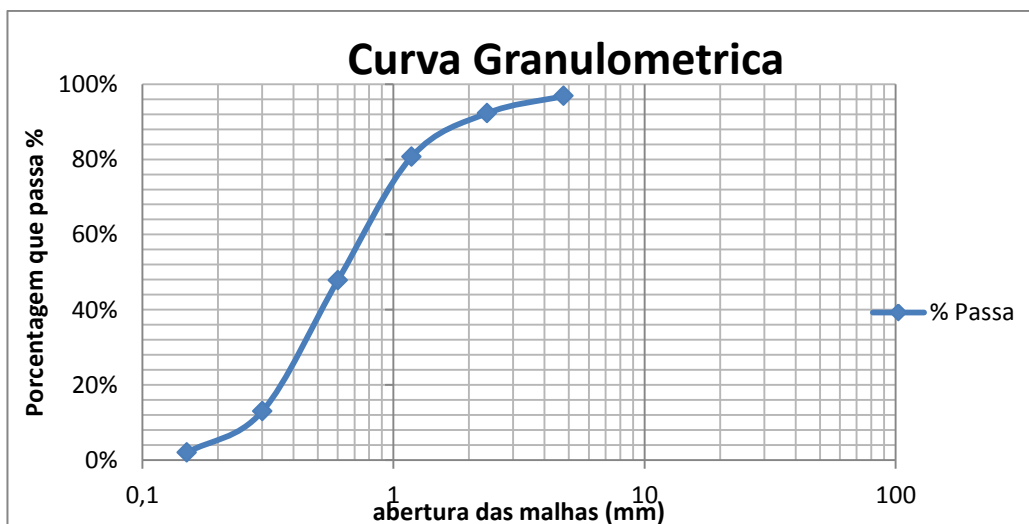


Gráfico 2 - Curva granulométrica – Areia Média



De acordo com a NBR – 6502/1995 os solos podem ser classificados conforme a escala granulométrica em:

- Pedregulho: conjunto de partículas cujas dimensões (diâmetros equivalentes) estão compreendidas entre 2 e 60 mm;
- Areia: entre 0,6 e 2 mm;
- Sendo a areia dividida em fina de 0,06 mm a 0,2mm, média de 0,2 mm a 0,6 mm e grossa de 0,6 mm a 2 mm.
- Silte: entre 0,002 e 0,006 mm;
- Argila: inferiores a 0,002 mm.

Para melhor compreender a granulometria segundo Das (2007), o sistema de classificação Unificada foi proposto por Casagrande em 1942 para uso em trabalhos de construção de aeroportos sob responsabilidade do Army Corps of Engineers durante a Segunda Guerra Mundial. Essa classificação foi feita de acordo com a tabela 1:

Tabela 1: Esquema para classificação pelo Sistema unificado

% P #200 < 50	G > S : G	% P #200 < 5	GW	CNU > 4 e 1 < CC < 3	
			GP	CNU < 4 ou 1 > CC > 3	
		% P #200 > 12	GC		
			GM		
		5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.		
	S > G : S	% P #200 < 5	SW	CNU > 6 e 1 < CC < 3	
			SP	CNU < 6 ou 1 > CC > 3	
% P #200 > 12		SC			
		SM			
	5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.			

% P #200 > 50	C	CL	
		CH	
	M	ML	
		MK	
	O	OL	
		OH	

Fonte: Das (2007)

Para melhor entender a tabela 1, é necessário compreender o que cada letra significa: (G) pedregulho, (S) areia, (M) silte, (C) argila, (O) solo orgânico, (W) solo bem graduado, (P) solo mal graduado, (H) solo de alta compressibilidade, (L) solo de baixa compressibilidade, (Pt) turfas. Assim poder caracterizar esse solo.

4.4.2 Frx

A espectrometria de fluorescência de raios X é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos químicos ($Z > 10$) presentes em uma amostra (análise qualitativa) assim como estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra presente na amostra. A fluorescência de raios-x consiste em irradiar sobre a amostra raios de alta energia e posterior detecção de emissões secundárias de raios-x características de cada elemento, permitindo a análise química e avaliação da composição elementar de diversos tipos de materiais. Foi utilizado o equipamento EDX-720.

4.4.3 Compactação

Esse ensaio foi realizado no laboratório da UFRN. Foi utilizado o método de proctor normal conforme mostra a figura 13 .

Figura 13: Cilindro proctor, soquete, bandeja e recipiente para amostras

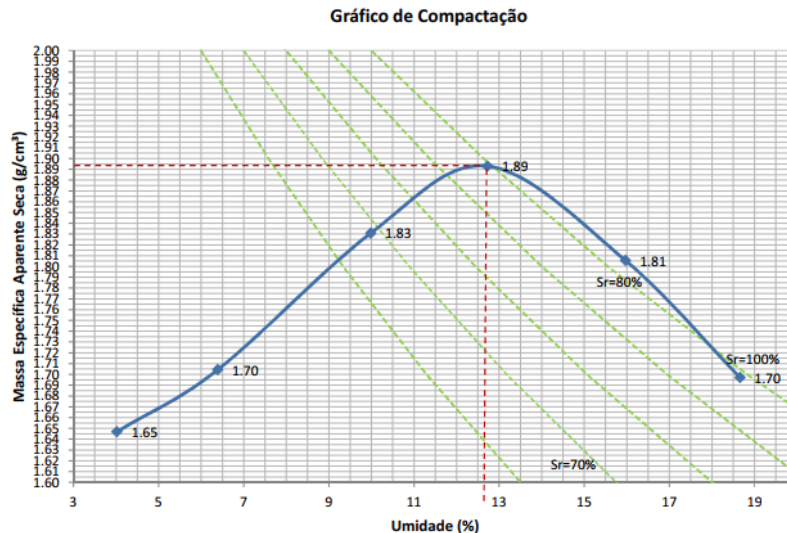


Fonte: autoria propria

Esse ensaio foi padronização no Brasil pela ABNT e tem como norma NBR 7182. Tem como objetivo determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica seca dos solos compactados. Os procedimentos foram: passar na peneira 4,8 mm, pesar cerca de 3 kg do material, com o auxílio do borrifador umidificar o solo até ficar totalmente homogeneizado, depois preencher cerca de 1/3 do cilindro de proctor e com um auxílio de um soquete de 26 golpes por camada, após a compactação pesar a amostra com o cilindro, posteriormente retirar o corpo de prova com o macaco hidráulico

,coletar amostra, pesar amostra , depois por na estufa afim de determinar a umidade conforme mostra o gráfico 3.

Gráfico 3 : Compactação do solo 1

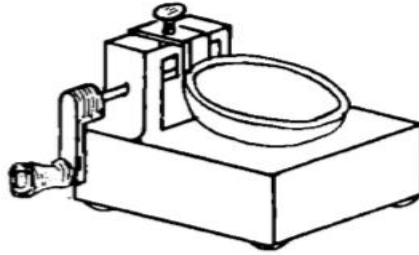


Com a análise deste gráfico, o mesmo representa o comportamento do solo após a sua compactação com diferentes teores de umidade, gerando assim pontos que formam a curva de compactação do solo.

4.4.4 Limite de liquidez(LL) NBR 6459

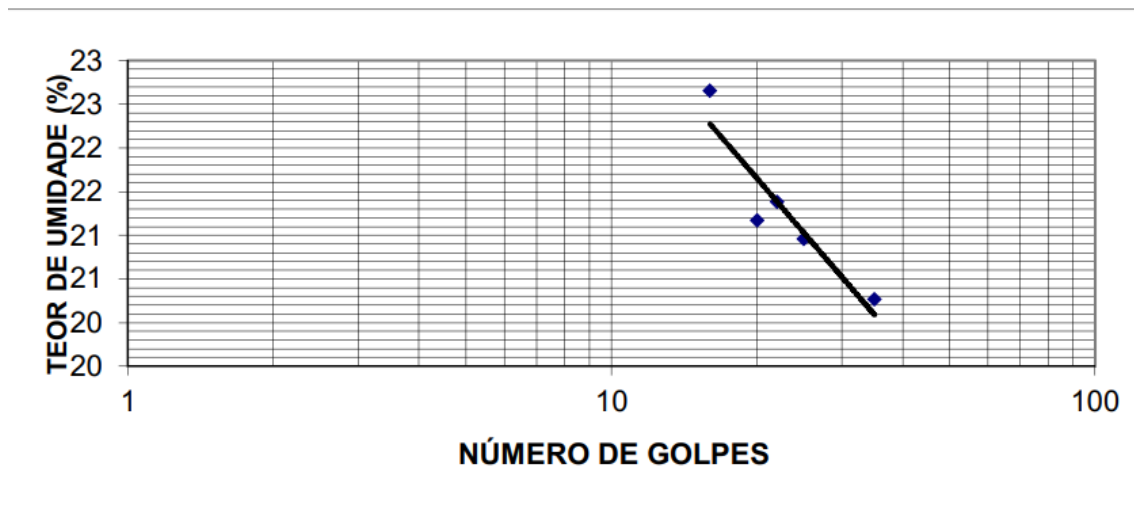
O limite de liquidez é definido como o teor de umidade que delimita fronteira entre o estado líquido e o plástico de um solo, experimentalmente corresponde ao teor de umidade em que o solo fecha uma certa ranhura sobre o impacto de 25 golpes do aparelho de Casagrande padronizado pela NBR 6459, conforme na figura 14.

Figura 14: Aparelho de Casa grande



Fonte: Caputo 1998

O primeiro passo consistem ajustar o aparelho de casa grande na medida de 1 cm com o auxilio do gabarito , após ajustar o aparelho de casa grande , utilizar a amostra de solo que foi passado na peneira de 0,42 mm cerca de 200 g, umedecer essa amostra de solo ate que vira uma substância pastosa. Ao final da homogeneização, a concha é preenchida com cerca de 2/3 e com o auxilio do cinzel fazer uma abertura no meio da concha, com isso feito será aplicado os golpes até que as abas dessa abertura se toquem . Sendo que a primeira ida ao Casagrande deve-se no máximo 35 golpes , caso essa amostra não feche, coloca-se mais solo nessa amostra e um pouco de agua e realiza-se o ensaio novamente. Esse ensaio foram realizado cerca de 5 vezes . Quando essa ranhura de fechar, retira-se uma amostra e pesa-se, posteriormente leva-se para a estufa durante 24 horas, decorrido este periodo pesa-se novamente essa amostra e assim determinar a umidade do solo através de uma reta mostrado no gráfico 4.

Grafico 4 : Limite de liquidez

4.4.5 Limite de plasticidade (LP) NBR 7180

Limite de plasticidade é definido sendo o valor de umidade em qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido, sendo assim o menor valor de umidade que esse solo se comporta plasticamente, para este ensaio.

Figura 15: Conjunto de dispositivos para a determinação do Limite de Plasticidade (LP)



Fonte: empresa contenco

A amostra de solo é preparada segundo a NBR 6457 que estabelece um método de preparação de amostras de solo para o ensaio de compactação e ensaio de caracterização. Inicialmente pesa-se cerca de 100 g de amostra e adiciona-se pequenas porções de água de forma que essa amostra fique totalmente homogênea e de característica plástica, mistura-se cerca de 15 a 20

minutos . Posteriormente separa cerca de 10 a 15g formando uma esfera e aplica-se uma força para que essa bola tome forma igual do gabarito, se a amostra fragmentar antes de ficar igual ao gabarito, repetir o ensaio. Ao realizar o ensaio, pegar esse rolinho de 3 mm colocar em uma capsula , pesa-lo e leva-lo para a estufa, afim de determinar sua umidade como mostra a tabela 1.

Tabela 2: Limite de plasticidade

Cápsula	8	23	87	N01	94	
Peso Bruto Úmido (g)	8.33	7.81	8.64	8.79	9.05	
Peso Bruto Seco (g)	8.13	7.63	8.45	8.59	8.75	
Tara da Cápsula (g)	6.97	6.62	7.35	7.11	7.01	
Peso da Água (g)	0.20	0.18	0.19	0.20	0.30	
Peso do Solo Seco (g)	1.16	1.01	1.10	1.48	1.74	
Umidade (%)	17.24	17.82	17.27	13.51	17.24	
				LP(%)= 17.3%		
Critério de Rejeição de Valores						
Determinações	W _{méd.} (%)	Δw		Intervalo de Variação		Rejeição
5	16.62	± 0.05		15.79	17.45	SIM
3	17.25			16.39	18.11	NÃO
Cálculo do Índice de Plasticidade:					IP= 3.8%	

Segundo Caputo (1988), o solo se encontra em estado plástico denomina-se índice de plasticidade, que é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. Podem ser classificados como :

fracamente plásticos $1 < IP < 7$

medianamente plásticos $7 < IP < 15$

altamente plásticos $IP > 15$

4.4.6 Ensaio de CBR- Índice de Suporte Califórnia NBR 9895

O ensaio de Capacidade de Suporte Califórnia (CBR) foi concebido pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia (USA) para avaliar a resistência dos solos. Este ensaio foi realizado baseado na norma DNER-ME 049/94 – Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia. No ensaio de CBR, é medida a resistência à penetração de uma amostra saturada compactada segundo o método Proctor. Inicialmente adicionamos água da umidade ótima encontrada na compactação, em seguida misturar a amostra de solo até homogeneizar, proceder a compactação, em 5 camadas com 12, 26 e 55 golpes por camada de acordo com a NBR 7182. Após a compactação pesa-

se a amostra com o cilindro, prepara o ensaio cbr e coloca a amostra totalmente imersa durante 4 dias e as leituras devem ser feitas de 24 em 24 horas. Com isso devemos saber o índice de expansividade desse solo. Conforme a figura 16.

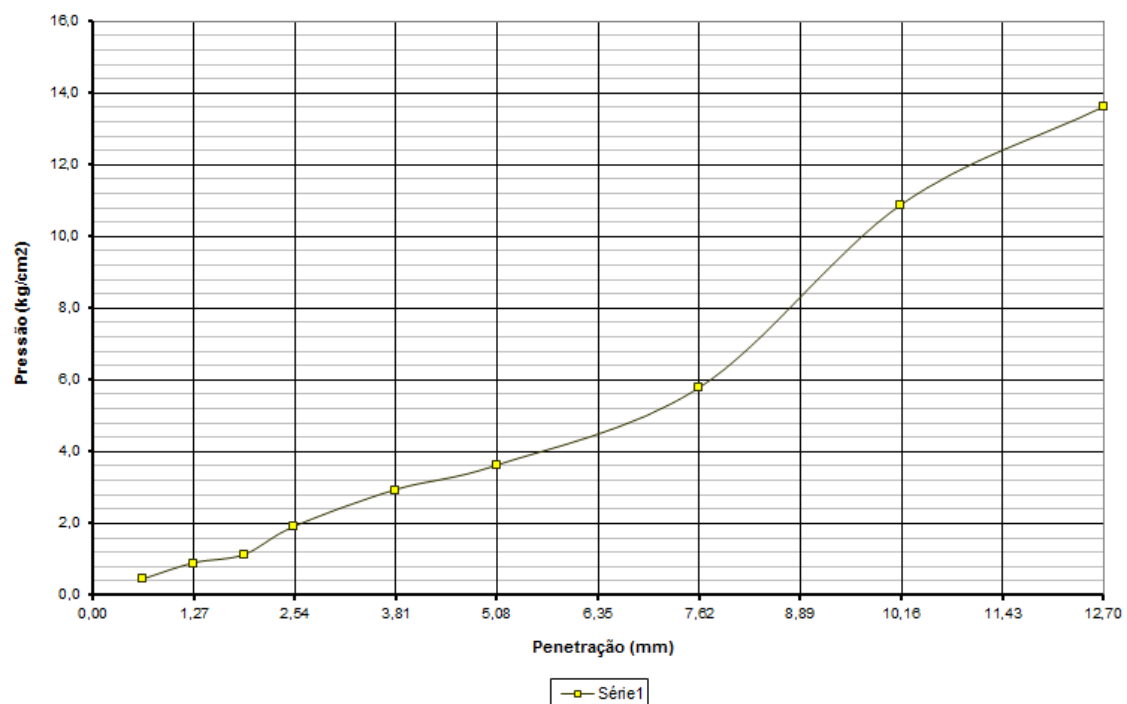
Figura 16: Ensaio CBR



Fonte: Autoria própria

O gráfico a seguir mostra a curva de relação da pressão exercida pelo pistão com a penetração do pistão:

Gráfico 5: Curva pressão x penetração



5 RESULTADOS

A intenção principal do trabalho é analisar e caracterizar o solo existente no subleito da região de Angicos/RN e o solo arenoso que foi usado como colchão de base para o pavimento em paralelepípedo. É importante sempre fazer ensaios tecnológicos dos materiais já existentes e dos que serão postos nas camadas estruturantes dos pavimentos, pois aumenta a durabilidade do pavimento e sua capacidade de suporte.

A caracterização física do solo foi feita através dos ensaios de Granulometria, Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), respeitando sempre as respectivas normas de cada um. Com esses resultados, foi possível definir o Índice de Plasticidade (IP) e também o IG, para definir em qual classe o solo se enquadra, foi usado o sistema de classificação unificada. Observou-se no ensaio de granulometria dos solos que o material arenoso apresentou uma distribuição melhor dos grãos, tendo poucos finos e pela tabela de classificação unificada foi caracterizado em SP pois o número do coeficiente de não uniformidade foi menor que 6. O solo com características argilosas apresentou uma quantidade de finos considerável e para esse solo com características argilosa foi possível classificar em SC-SM, pois o mesmo se encontra com uma porcentagem maior que 12%.

Com análise química realizada pelo equipamento EDX-720, o ensaio de FRX apresentou composições diferentes para os materiais analisados. Devido às características argilosas, houve uma porcentagem superior de ferro para o solo argiloso comprovando essa quantidade maior de finos e sua coloração. Para o material arenoso, o percentual de sílica foi elevado junto com o zircônio comprovando a veracidade da amostra.

Não é adequado o uso de solos com características argilosos em pavimentação, pois geralmente apresentam elevada expansão em contato com a água e baixa capacidade de suporte. Para identificar as características argilosas presentes no solo proveniente da região de Angicos/RN, foram realizados os ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). A partir dos valores de limite de liquidez e limite de plasticidade, encontramos um índice de plasticidade igual a 3,8 %, caracterizando o solo da amostra 1

fracamente plástico. Como não foi possível realizar os ensaios na amostra 2 pode ser considerado como não-plástico.

Com a análise do gráfico de compactação obteve-se os valores do peso específico aparente seco máximo e da umidade ótimas encontrado foram, respectivamente: $1,893 \text{ g/cm}^3$ e 12,73% para a amostra do arenosa com teor de argila. Para o solo 2 que trata-se de uma areia, não foi possível a realização do ensaio , pois constava ser uma areia e a mesma não possui grau de compactação.

Após a análise e a classificação, o estudo mostra que esse solo do sub-leito é ruim para a pavimentação, devido o baixo valor de ISC obtido pela amostra que foi 3,44 e expansão 0,5, apesar de exibir um baixo teor de plasticidade, por possuir uma baixa resistência, este tipo de solo se torna inviável para o uso da construção de pavimentos. Pois com a análise correta dos dados obtidos a partir deste ensaio, obtêm-se uma estrutura economicamente viável, preservada de possíveis manifestações patológicas relacionadas à capacidade de suporte ou possíveis expansões do solo.

6 CONCLUSÃO

Em vista dos argumentos apresentados a caracterização dos solos é de extrema importância com relação a sua aplicação, especialmente para a realização de pavimentos. Compreender e classificar os solos em diversos grupos, trazendo conhecimento sobre suas propriedades e características, possibilita o seu uso apropriado de acordo com suas finalidades.

A Fluorescência de Raios-X mostra-se como uma técnica muito versátil e importante, pois através da análise quantitativa e qualitativa pode-se obter os resultados e ter noção de que tipo de solo essa amostra foi retirada, sem necessitar um alto investimento para a realização do ensaio, e também oferecendo a grande vantagem de ser um método analítico não destrutivo.

Com os ensaios de LL e LP é possível determinar o quanto será a consistência de um solo, estabelecendo a variação com o seu comportamento acompanhado a interferência do teor de umidade, esses limites dão uma boa ideia do comportamento desse solo sob carregamento. Com isso deve-se usar solos com baixos índices de LL e LP em camadas estruturantes do pavimento.

O ensaio de compactação dos solos é primordial para que se consiga aumentar sua resistência e uma diminuição de sua compressibilidade, necessidade que em construções de estradas. A compactação é um método que se dá por meio de transferência de energia mecânica para estabilização dos solos. Quando não ocorre há compactação adequada na execução de camadas estruturantes do pavimento ocorrem problemas, comprometimento da estrutura do pavimento e diminuição da vida útil do mesmo.

O ensaio de índice de suporte Califórnia mostrou que esse material é expansivo em meio aquoso e que seu uso in natura no subleito pode desencadear problemas na camada de revestimento. A importância desse ensaio está na determinação do valor relativo do suporte de solos, que é utilizado para dimensionar pavimentos, obtendo-se a espessura do pavimento necessário para suportar a carga do subleito considerando sua capacidade de suporte.

Com isso podemos concluir que os demais ensaios, são de extrema importância para a pavimentação, pois é dos ensaios que acontece o agrupamento dos solos similares, permitindo a estimativa de como esse solo se comporta diante de diversas situações. Assim certificar a melhor escolha de material a ser utilizado prevenindo danos e gastos excessivos.

Como Sugestão para obras de pavimento na região de Angicos, deixo como indicação que seja retirado o solo do subleito e substituído, pois o mesmo não possui uma boa capacidade de suporte adequado, assim evitando patologias causadas por uso inadequado dos solos.

REFERENCIAS

ARAÚJO, Marcelo Almeida; et. al. **Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto)**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. Ano 01, Edição 11, Vol. 10, pp. 187-196, Novembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. São Paulo: Abnt, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro: Abnt, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. São Paulo: Abnt, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação. São Paulo: Abnt, 1986.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS INVENTORES (São Paulo). **Método Bripar de Pavimentação**. 2012. Disponível em: <<http://www.invencoesbrasileiras.com.br/metodo-bripar-de-pavimentacao/>>. Acesso em: 15 maio 2019.

BALBO, Jose Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 558p.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2006. 504 p.

BRASIL. JAIME SANTOS FREITAS PACHECO. . **Histórico Do Rodoviarismo**. 2001. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/historico/>>. Acesso em: 15 maio 2019.

BERTOLLO, Sandra Ap. Margarido. **Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede**. São Carlos: Edusp, 1997. 221 p.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6ª ed. Rio de Janeiro: livros técnicos e científicos, 1988.

DAS, Braja M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Tradução de All Tasks; revisão técnica Leister de Almeida Barros. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 561 p.

DE PLANEJAMENTO, Diretoria et al. **Manual de pavimentação**. 2006.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994) ME 49 – Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.

JÚNIOR, Fernando Augusto. **Manual de Pavimentação Urbana**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1992.

LUIZ COSTA (Mossoró). **Áreas de Atuação**. 2012. Disponível em: <http://clconstrutora.com.br/2012/?page_id=107>. Acesso em: 15 maio 2019.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Pavimentação**. Juiz de Fora: Geraldo Luciano de Oliveira Marques, 2006. 210 slides, color, 25X20.

MOTTA, Laura Maria Goretti da et al. **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008. 60 p.

ODA, Sandra. Notas de aula de Pavimentação A, cursada na Universidade Federal do Rio de Janeiro no segundo semestre de 2016.

PEIXOTO, Carlos. **A história de Parnamirim**. Natal: Z Comunicações, 2003. 233p.

PREGO, ATAHUALPA SCHMITZ DA SILVA. **A memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro, ABPv 2001.

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. **Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, Julho de 2017

ROBERTO LUCENA (Brasil). **Base Aérea vira "setentona", com ares de modernidade**. 2012. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/base-aerea-vira-setentona-com-ares-de-modernidade/213661>>. Acesso em: 15 maio 2019.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

TECPAR (São Paulo). **Asfalto x Paralelepípedo**. Disponível em: <<http://www.tecparpavimentos.com.br/goto/store/texto/67/asfalto-x-paralelepipedo>>. Acesso em: 15 maio 2019.

7 ANEXO

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
====[No. 1 Layer]====< Layer1 >=====					
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----	-----
====[No. 2 Layer]====< Layer2 >=====					
Layer2	564.026 ug/cm2	(-----)	Total	-----	-----
Si	26.523 %	(0.035)	Quan-FP	SiKa	14.4322
Zr	26.302 %	(0.052)	Quan-FP	ZrKa	50.8076
Fe	16.715 %	(0.034)	Quan-FP	FeKa	44.7218
Al	9.139 %	(0.035)	Quan-FP	AlKa	1.9122
K	7.787 %	(0.021)	Quan-FP	K Ka	3.5529
Ca	6.086 %	(0.017)	Quan-FP	CaKa	3.3308
Sr	2.814 %	(0.019)	Quan-FP	SrKa	6.1293
Ti	2.512 %	(0.017)	Quan-FP	TiKa	4.6259
Rb	0.678 %	(0.013)	Quan-FP	RbKa	1.5628
Y	0.611 %	(0.016)	Quan-FP	Y Ka	1.2412
Er	0.488 %	(0.034)	Quan-FP	ErLa	0.5808
Mn	0.288 %	(0.007)	Quan-FP	MnKa	0.7158
P	0.059 %	(0.005)	Quan-FP	P Ka	0.0391

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
====[No. 1 Layer]====< Layer1 >=====					
Layer1	5.000 um	(-----)	Fix	-----	-----
C3H6	100.000 %	(-----)	Fix	-----	-----
====[No. 2 Layer]====< Layer2 >=====					
Layer2	881.199 ug/cm2	(-----)	Total	-----	-----
Fe	46.338 %	(0.046)	Quan-FP	FeKa	186.0878
Si	23.316 %	(0.038)	Quan-FP	SiKa	12.7149
Al	13.297 %	(0.049)	Quan-FP	AlKa	2.6608
K	4.182 %	(0.015)	Quan-FP	K Ka	2.9704
Ca	4.071 %	(0.013)	Quan-FP	CaKa	3.4948
Ti	2.022 %	(0.013)	Quan-FP	TiKa	5.9402
Zr	1.752 %	(0.013)	Quan-FP	ZrKa	5.2401
Ba	1.382 %	(0.041)	Quan-FP	BaLa	1.2955
Mg	1.244 %	(0.042)	Quan-FP	MgKa	0.0731
Sr	0.945 %	(0.009)	Quan-FP	SrKa	3.1628
Mn	0.620 %	(0.007)	Quan-FP	MnKa	2.3389
Rb	0.385 %	(0.008)	Quan-FP	RbKa	1.3434
Y	0.160 %	(0.008)	Quan-FP	Y Ka	0.4998
Cr	0.141 %	(0.005)	Quan-FP	CrKa	0.5317
Zn	0.092 %	(0.004)	Quan-FP	ZnKa	0.4496
Ni	0.056 %	(0.004)	Quan-FP	NiKa	0.2211



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182

CLIENTE: Mateus

LOCAL:

AMOSTRA: 1

ENSAIO: normal

DATA: 6/28/2019

V 2.0

Cilindro:	peq	Peso do Cilindro (g):	2509.90	Volume do Cilindro (cm³):		998.22	
Peso do Cilindro + Solo Úmido (g):			4220.00	4320.00	4520.00	4640.00	4600.00
Peso do Solo Úmido (g):			1710.10	1810.10	2010.10	2130.10	2090.10
Massa Específica Aparente Úmida (g/cm³):			1.71	1.81	2.01	2.13	2.09
Cápsula:			A4	M01	4A	T10	B11
Peso da Cápsula (g):			15.84	15.90	15.78	16.38	16.88
Peso da Cápsula + Solo Úmido (g):			81.51	86.14	105.65	111.58	108.31
Peso da Cápsula + Solo Seco (g):			78.97	81.92	97.49	100.83	95.72
Teor de Umidade (%):			4.02	6.39	9.99	12.73	15.97
Cápsula:							
Peso da Cápsula (g):							
Peso da Cápsula + Solo Úmido (g):							
Peso da Cápsula + Solo Seco (g):							
Teor de Umidade (%):							
Cápsula:							
Peso da Cápsula (g):							
Peso da Cápsula + Solo Úmido (g):							
Peso da Cápsula + Solo Seco (g):							
Teor de Umidade (%):							
Teor de Umidade Médio (%)			4.02	6.39	9.99	12.73	15.97
Massa Específica Aparente Seca (g/cm³):			1.65	1.70	1.83	1.893	1.81
Índice de Vazios			0.52	0.47	0.37	0.32	0.38
Porosidade (%)			34.12%	31.82%	26.77%	24.28%	27.78%
Grau de Saturação (%)			19.42%	34.23%	68.31%	99.23%	103.79%



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

v.2.0

LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

CLIENTE:	Mateus	PROFUNDIDADE:	
LOCAL:		ENSAIO:	
AMOSTRA:	1	DATA:	6/28/2019

LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

Cápsula	5	98	66	17	06-V	
Nº de Golpes	25	16	35	20	22	
Peso Bruto Úmido (g)	17.32	13.66	15.58	12.99	13.44	
Peso Bruto Seco (g)	15.49	12.26	14.07	11.83	12.20	
Tara da Cápsula (g)	6.76	6.08	6.62	6.35	6.40	
Peso da Água (g)	1.83	1.40	1.51	1.16	1.24	
Peso do Solo Seco (g)	8.73	6.18	7.45	5.48	5.80	
Umidade (%)	20.96	22.65	20.27	21.17	21.38	

LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180					LL(%)= 21.0%	
Cápsula	8	23	87	N01	94	
Peso Bruto Úmido (g)	8.33	7.81	8.64	8.79	9.05	
Peso Bruto Seco (g)	8.13	7.63	8.45	8.59	8.75	
Tara da Cápsula (g)	6.97	6.62	7.35	7.11	7.01	
Peso da Água (g)	0.20	0.18	0.19	0.20	0.30	
Peso do Solo Seco (g)	1.16	1.01	1.10	1.48	1.74	
Umidade (%)	17.24	17.82	17.27	13.51	17.24	
					LP(%)= 17.3%	
Critério de Rejeição de Valores						
Determinações	W _{méd.} (%)	Δw	Intervalo de Variação		Rejeição	
5	16.62	± 0.05	15.79	17.45	SIM	
3	17.25		16.39	18.11	NÃO	
Cálculo do Índice de Plasticidade:					IP= 3.8%	
Observações:			Operador:			
			Visto:			

DADOS DO C.P.			DADOS DE COMPACTAÇÃO				
CONSTANTE DO ANEL DINAMOMÉTRICO (k)		0,1135	TEOR DE UMIDADE ÓTIMO (%)		12,73		
IDENTIFICAÇÃO DO MOLDE UTILIZADO		SN	MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁX. (g/cm³)		1,89		
ALTURA INICIAL DO C.P. (mm)		115,00	TEOR DE UMIDADE INICIAL				
VOLUME DO C.P. (cm³)		2037					
GOLPES P/ CAMADA NA MOLDAGEM DO C.P.		12	N.º DA CÁPSULA		1		
MASSA (molde + solo + água) (g)		10060,00	MASSA (cápsula + solo + água) (g)		196,95		
MASSA DO MOLDE (g)		5269,80	MASSA (cápsula + solo) (g)		178,50		
MASSA (solo + água) (g)		4790,20	MASSA DA CÁPSULA (g)		29,46		
MAS. ESPECÍF. APTE DO SOL. ÚML. (g/cm³)		2,284	MASSA DO SOLO SECO (g)		149,04		
MAS. ESPECÍF. APTE DO SOL. SECO (g/cm³)		2,033	TEOR DE UMIDADE (%)		12,38		
EXPANSÃO							
DATA	HORA	TEMPO DECORRIDO	LEITURA (mm)	ALTURA (mm)	EXPANSÃO(%)		
02/08/2013	15:00	0	0,0000	115,000	0,00		
03/08/2013	15:00	24 H	0,0200	115,000	0,02		
04/08/2013	15:00	48 H	0,0400	115,000	0,03		
05/08/2013	15:00	72 H	0,0400	115,000	0,03		
06/08/2013	15:00	36 H	0,0600	115,000	0,05		
MASSA (molde + solo + água) APÓS SUBMERSÃO (g)			10140,00				
MASSA DA ÁGUA ABSORVIDA (g)			80,00				
ENSAIO NA PRENSA							
TEMPO (min)	PENETRAÇÃO		PRESSÃO PADRÃO (kg/cm²)	LEITURA DO EXTENSÔMETRO	PRESSÃO (kg/cm²)		I.S.C (%)
	(mm)	(pol)			CALCULADA	CORRIGIDA	
0,5	0,63	0,025		4	0,45		
1	1,27	0,050		8	0,91		
1,5	1,90	0,075		10	1,14		
2	2,54	0,100	70,31	17	1,93		2,74
3	3,81	0,150		26	2,95		
4	5,08	0,200	105,46	32	3,63		3,44
6	7,62	0,300	133,58	51	5,79		
8	10,16	0,400	161,71	36	10,30		
10	12,70	0,500	182,8	120	13,62		
TEOR DE UMIDADE APÓS O ENSAIO DE PENETRAÇÃO				RESUMO DO ENSAIO			
POSIÇÃO DA AMOSTRA		TOPO		BASE			
N.º DA CÁPSULA		25		36		EXPANSÃO APÓS 4 DIAS	
MASSA DA CÁPSULA (g)		17,36		16,37		ISC (%)	
MASSA (cápsula + solo + água) (g)		43,83		58,90		GRAU DE SATURAÇÃO (%)	
MASSA (cápsula + solo) (g)		40,82		53,80			
TEOR DE UMIDADE (%)		12,83		13,63			