



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA -
INTEGRAL

MONALLISA CRISTINA HOLANDA

**CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE BRITA DE ORIGEM CALCÁRIA: ANÁLISE
FÍSICA DO MATERIAL EM RELAÇÃO À MECÂNICA DOS SOLOS**

CARAÚBAS
2015

MONALLISA CRISTINA HOLANDA

**CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE BRITA DE ORIGEM CALCÁRIA: ANÁLISE
FÍSICA DO MATERIAL EM RELAÇÃO À MECÂNICA DOS SOLOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Paulo Henrique Araújo Bezerra – UFERSA

CARAÚBAS

2015

© Todos os direitos estão reservados à 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 tornar-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.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)
Setor de Informação e Referência

H722c Holanda, Monallisa Cristina.

Caracterização do pó de brita de origem calcária:
análise física do material em relação à mecânica dos
solos/ Monallisa Cristina Holanda -- Caraúbas, 2015.

53f.: il.

Orientador: Prof. Me. Paulo Henrique Araújo
Bezerra

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Resíduos sólidos. 2. Impacto ambiental. 3. Brita –
construção civil. I. Título.

RN/UFERSA/BCC
CDD: 628.44

Bibliotecário: Eugênio Pacelli Ferreira da Costa
CRB-15/658

MONALLISA CRISTINA HOLANDA

**CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE BRITA DE ORIGEM CALCÁRIA: ANÁLISE
FÍSICA DO MATERIAL EM RELAÇÃO À MECÂNICA DOS SOLOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 02 / 02 / 2015

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Paulo Henrique Araújo Bezerra - UFERSA

Orientador - Presidente



Prof. Me. John Glennedy Bezerra Gurgel - IFRN

Primeiro Membro



Prof. Me. Wendel Silva Cabral - UFERSA

Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, pois Ele sempre esteve ao meu lado, quando eu quis fraquejar. Ele não me deixou desistir em nenhum momento, renovando minha fé a cada passo realizado.

Ao meu orientador Paulo Henrique, pelo incentivo, dedicação, paciência, disponibilidade, conhecimentos repassados e confiança.

A minha família, a quem eu devo todas as minhas conquistas, minha base, que sempre se uniu com o objetivo de repassar valores e forças para que todas minhas metas fossem alcançadas.

Aos técnicos do laboratório de Mecânica dos Solos da UFERSA Mossoró e Caraúbas, Marcelo Padre e Augusto César.

Aos meus amigos que sempre depositaram confiança e incentivo ao longo de toda a minha jornada acadêmica, Monalisa Regalado, Cássio Kaique, Jarielly Nunes, Carlos Júnior, Layon Acacias, Patrícia Rodrigues, Diogo Moraes, Jéssica Candyce e em especial, a Eryca Tatyane que me trouxe de volta aos estudos.

RESUMO

A caracterização do pó de brita de origem calcária com análise físicas em relação a mecânica dos solos possibilita o acesso a informações parciais sobre a utilização do resíduo de britagem em geotecnia. Dessa forma, os ensaios laboratoriais de classificação dos solos, tais como granulometria, limites de consistência e compactação, regidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e utilizado sistemas de classificações tais como o SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos) e o HRB (Highway Research Board), para interpretação dos resultados, obtendo prováveis estimativas das propriedades de cada solo com o auxílio das literaturas existentes. Apesar do pó de brita de origem granítica ter aplicações bem consolidadas, o mesmo não ocorre quando a origem do pó é calcária. O possível aproveitamento desse material ocorre devido à crescente utilização de agregados artificiais, advindo do aquecimento na construção civil, tornando a geração de resíduo cada vez mais perceptível em vários processos. Por outro lado, para evitar a degradação do ambiente, assim como a utilização de materiais com baixo custo e eficiência satisfatória, o pó de brita é motivo de estudos em diversas áreas da engenharia civil, como por exemplo, substituir agregados miúdos no concreto e insumos para a obtenção de cerâmica. O estudo sobre a utilização do resíduo de britagem de origem calcária na geotecnia, sobretudo na pavimentação e obras de contenção, ainda está em seu princípio, mas os resultados obtidos para esses fins são considerados satisfatórios para positiva utilização.

Palavras-chave: Caracterização. Resíduos. Britagem. Pó de brita. Calcário.

ABSTRACT

The characterization of calcareous gravel dust with physical analysis for soil mechanics provides access to partial information on the use of waste crushing geotechnical. Thus, the test laboratory for soil classification, such as particle size, consistency limits and compression, governed by the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), and used ratings systems such as the USCS (Unified System of Soil rating) and HRB (Highway Research Board) for the interpretation of the results, obtaining probable estimates of the properties of the soil with the help of existing literature. Despite the granitic origin of gravel dust has well-established applications; the same does not occur when the source of the powder is limestone. The possible use of this material is due to the increasing use of artificial aggregates, heating arising in construction, making the generation of waste increasingly felt in various processes. Moreover, to prevent degradation of the environment as well as the use of materials with low cost and favorable efficiency, the crushed powder is ground for studies in various fields of civil engineering, for example, to substitute fine aggregates in concrete and inputs to obtain ceramic. The study on the use of calcareous origin of crushing waste in geotechnical, especially in paving and containment works, is still in its early days, but the results obtained for these purposes are considered satisfactory for positive use.

Keywords: Characterization. Waste. Crushing. Crushed stone powder. Calcareous.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Perfil resultante da decomposição e rochas.....	15
Figura 2 - Local de solo transportados.....	16
Figura 3 - Três fases do solo.....	18
Figura 4 - Fases do solo.	18
Figura 5 - Limites de Atterberg dos solos.	29
Figura 6 - Britador ao qual foi retirada a amostra.	33
Figura 7 - Amostra do material retido na peneira de 2 mm	35
Figura 8 - Amostra do material passante da peneira de 2mm.	35
Figura 9 - Amostra do material para a retirada da umidade higroscópica.	36
Figura 10 - Série de peneiras de abertura de malhas conhecidas.	36
Figura 11 - Corpos cilíndricos com presença de trincas e quebradiços.	37
Figura 12 - Aparelho Casagrande com amostra do pó de britagem.....	38
Figura 13 - Amostras do solo na estufa.....	39
Figura 14 - Amostra do solo compactada.....	40
Figura 15 - Processo de compactação do solo.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frações granulométricas da britagem das rochas.	23
Tabela 2 – Classificação dos solos quanto à granulometria.	27
Tabela 3 – Resultados obtidos no ensaio de granulometria.	41
Tabela 4 – Porcentagem das frações granulométricas.	43
Tabela 5 – Resultados do ensaio de limite de plasticidade.	43
Tabela 6 – Resultado do ensaio de limite de liquidez.	44
Tabela 7 – Resultados do ensaio de compactação	45

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS.....	8
SUMÁRIO	9
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Geral	12
1.2.2 Específicos.....	12
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 SOLOS	14
2.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO Á FORMAÇÃO	14
2.2.1 Solos residuais.....	15
2.2.2 Solos transportados	16
2.2.3 Solos orgânicos	16
2.3 FASES DO SOLO E ÍNDICES FÍSICOS	17
2.4 UTILIZAÇÃO DOS SOLOS E GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	21
2.5 PROCESSO DE BRITAGEM	22
2.6 PÓ DE BRITA.....	23
2.7 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	25
2.7.1 Análise física.....	27
2.7.1.1 Granulometria.....	27
2.7.1.2 Massa específica	28
2.7.1.3 Limites de consistência	28
2.7.1.4 Compactação dos solos	29

2.7.2. Classificação dos solos.....	30
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
3.1. METODOLOGIA.....	32
3.2. LOCALIZAÇÃO DA JAZIDA.....	32
3.3. MATERIAL	33
3.4. COLETA DA AMOSTRA	33
3.5. ANÁLISE FÍSICA.....	34
3.5.1. Análise granulométrica.....	34
3.5.2. Limites de consistência	37
3.5.2.1. Limite de plasticidade	37
3.5.2.2. Limite de liquidez	38
3.5.3. Compactação	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 ANÁLISE FÍSICA DO PÓ DE BRITA	41
4.1.1 Granulometria	41
4.1.2 Limite de Plasticidade	43
4.1.3 Limites de liquidez	44
4.1.4 Compactação	45
4.1.5 Observações	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Sabe-se que o solo é formado da desintegração e decomposição de outros materiais, tais como rochas, matérias orgânicas, entre outros, que são submetidos a ações, que decrescem, até se anular com o aumento da profundidade, dos intemperismos físico e/ou químico para a sua formação.

Como a existência e propriedades dos solos dependem do material ao qual o originou, há uma diversidade de classificações e diferenças entre os mesmos, logo para que sejam conhecidas e definidas suas propriedades, é necessário a realização de ensaios de caracterização. A partir desses parâmetros serão fornecidos conhecimentos específicos das propriedades físicas e químicas do material que está em experimento.

A caracterização tem função de definir e normatizar, através de experimentos regulamentados pelas Normas Brasileiras Técnicas (NBR), os tipos de solo para sua melhor utilização, pois, segundo Hagemann (2011, p.15), “o material deve possuir propriedades que o tornem adequado ao uso que se pretende fazer dele”.

Há uma variedade de ensaios para a caracterização, a avaliação da escolha do método utilizado dependerá das informações necessárias, essenciais para a função requerida, para isso haverá o método que melhor se adequa.

Quando os solos são utilizados, seja como material de construção, ou com a função de apoio, alicerçando obras na engenharia civil, é de suma importância conhecer suas características e como se comportará diante de esforços solicitantes. Logo, a caracterização parcial de solos formados a partir de resíduos de britagem, trará benefícios não só como um material a ser adicionado que melhore as propriedades do solo, mas também como um pontapé para pesquisas que o tornem alternativa de material, tornando viável comercialmente seu reaproveitamento e produção. Com a utilização de resíduos, ocorrerá o aproveitamento total dos produtos gerados pelo processo de britagem, logo os problemas ambientais causados inicialmente pelo seu descarte ocorrerão em menor escala.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Caracterização de resíduos de solo de britador com vistas a seu aproveitamento em atividades geotécnicas.

1.2.2 Específicos

- Estabelecer importância, conceituar e realizar ensaios de caracterização dos solos, sobretudo com os resíduos do britador;
- Abordar o reaproveitamento de resíduos sólidos em geotecnia;
- Interpretar os resultados e indicar possíveis utilizações do resíduo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O texto do presente trabalho está organizado em 5 capítulos. No capítulo 2, apresenta-se a fundamentação teórica do problema, obtida em literatura, a qual servirá de apoio para a caracterização do pó de pedra.

E seguida, no capítulo 3, são apresentados a metodologia utilizada nos processos laboratoriais para obtenção dos resultados apresentados e analisado no capítulo 4, bem como uma breve discussão sobre os mesmos.

Por fim, no capítulo 5, abordam-se conclusões e propostas sobre possíveis utilizações do pó de pedra na área de geotecnia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLOS

A importância de estudar o comportamento dos solos na engenharia civil não advém somente pela função de estabilizar e suportar obras que serão assentadas sobre o terreno (PINTO, 2006), mas também na sua utilização como materiais de construção, logo, o conhecimento específico de cada solo através da caracterização do mesmo é solicitado em qualquer fim.

Os solos são materiais formados através da desintegração e deterioração das rochas ou sedimentos, pela ação do intemperismo físico e químico, seja aumentando a área superficial das partículas de solo ou modificando os minerais que o compõem, os quais estão sob ação, pela quebra de estruturas químicas destes. Os sedimentos são não cimentados em superfície e consolidam-se com o aumento da profundidade, onde a ação do intemperismo é enfraquecida até se anular.

De acordo com Santos (2012), além do intemperismo, há dois outros eventos que influenciam na formação dos solos superficiais e suas características, tais como a pedogênese e a laterização, ocorrendo alterações bioquímica dos materiais e migração de íons no interior do solo, respectivamente. As ocorrências desses fenômenos deixam os solos superficiais formados através das rochas cristalinas e sedimentares com característica resistiva e argilosa, podendo ser até 100 vezes mais resistentes à erosão e contendo até 30 vezes mais argilas quando comparados aos solos de camadas inferiores.

2.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FORMAÇÃO

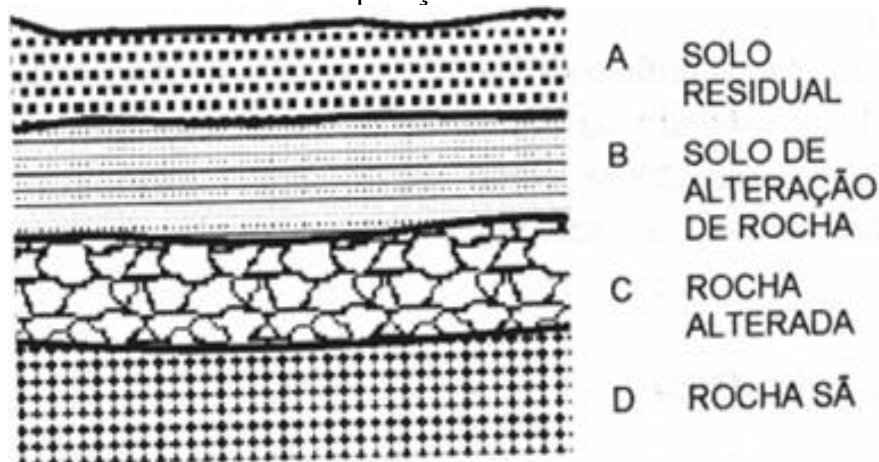
Quanto à formação, a classificação dos solos contribui para um melhor conhecimento das ocorrências dos comportamentos, com o auxílio de outros

parâmetros da constituição física (SANTOS, 2012). Podem ser divididos em residuais, transportados e orgânicos.

2.2.1 Solos residuais

“Solo residual é o conjunto de materiais resultantes da intemperização da rocha e que se comporta como solo” (MACIEL FILHO, 2008), permanecendo no mesmo lugar onde foi originado, onde se percebe a ação decrescente do intemperismo ao longo da profundidade, como pode ser observada na Figura 1. A variação desse fenômeno subdivide o solo residual em laterítico ou maduros, saprolíticos ou jovens e rocha alterada, esta última tem menor resistência em relação a rocha original, devido à presença de fissuras causadas pelo desgaste do intemperismo, que ocorre em maior incidência no solo residual saprolítico, mantendo-o com características e estrutura da rocha geradora, mas sem a consistência e de baixa resistência ao manuseio, logo o solo residual laterítico sofreu forte ação do intemperismo, pois o mesmo é mais superficial, tornando-o relativamente homogêneo, devido a perda toda a estrutura da rocha-mãe (PINTO, 2006).

Figura 1 - Perfil resultante da decomposição e rochas.

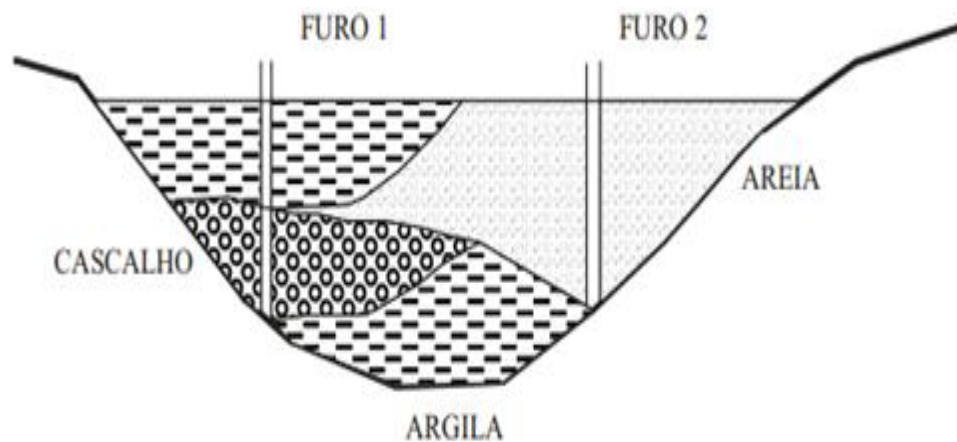


Fonte: DNIT, 2006.

2.2.2 Solos transportados

Os solos transportados são originados através do acúmulo de sedimentos trazidos por meio de agentes transportadores, que podem ser a água, o vento e a gravidade, caracterizando os solos aluvionares, os eólicos e os coluvionares, respectivamente. Geralmente, possuem depósitos mais inconsolidados e fofos, quando comparados aos solos residuais, e com profundidade variável devido a sua formação. Não tem a característica homogênea devido à diferença de materiais acumulados devido aos diversos agentes, que podem influenciar também as variações laterais e verticais na sua composição (DNIT, 2006). A Figura 2 apresenta a diversidade dos solos com o aumento da profundidade, em função da deposição de vários solos transportados ao longo dos anos, em um único local caracterizado pelos furos 1 e 2.

Figura 2 - Local de solo transportados.



Fonte: DNIT, 2006.

2.2.3 Solos orgânicos

“São chamados de solos orgânicos aqueles que contêm uma quantidade apreciável de matéria decorrente de decomposição de origem vegetal ou animal, em vários estágios de decomposição” (PINTO, 2006). O teor de matéria orgânica em

peso varia de 4 a 20%, apresentando elevados índices de vazios, e devido a sedimentação recente, possuem baixa capacidade de suporte e compressibilidade considerada. São facilmente identificados pela cor e odor característico, provenientes das argilas e areias.

Os solos orgânicos são encontrados no Brasil, em sua maior espessura de dezenas de metros nos depósitos litorâneos. Também podem ser encontrados em menores proporções nas várzeas dos rios e córregos, com camadas que variam de 3 a 10 m de espessura (PINTO, 2006).

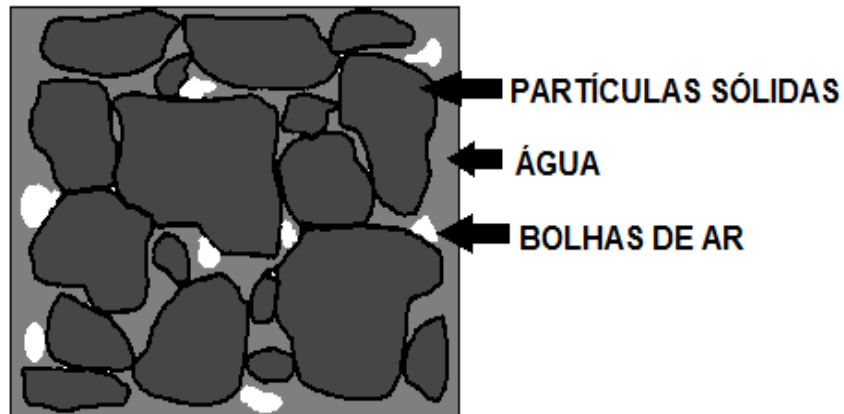
2.3 FASES DO SOLO E ÍNDICES FÍSICOS

Constituídos pelas três fases, sólido, líquido e gasoso, o solo também apresenta características físicas, químicas e biológicas, pré-determinadas pela rocha, relevo e microorganismos presentes no local no qual houve sua formação. Conforme Almeida (2005) os solos são identificados pela textura, granulometria, plasticidade, consistência, compactidade, estrutura, forma dos grãos, cor, cheiro, friabilidade, presença de outros materiais, tais como, conchas, matéria vegetal, mica, etc.

Os índices físicos auxiliam na obtenção de informações na forma em que o solo se encontra, em um dado momento, pois as fases físicas apresentadas dependem das condições nas quais o mesmo está submetido, podendo ser de ordem natural, como chuvas, temperatura ou de forma não natural, tais como compactação mecânica, cortes realizados, entre outros. As ocorrências dessas ações podem causar o aumento ou diminuição, tanto na quantidade líquida como na gasosa, presente no solo.

Como mencionado anteriormente, os solos são compostos por partículas sólidas que devido a sua geometria formam vazios, que são preenchidos com água e/ou ar, obtendo as três fases físicas, líquida, sólida e gasosa em sua formação como apresentado na Figura 3.

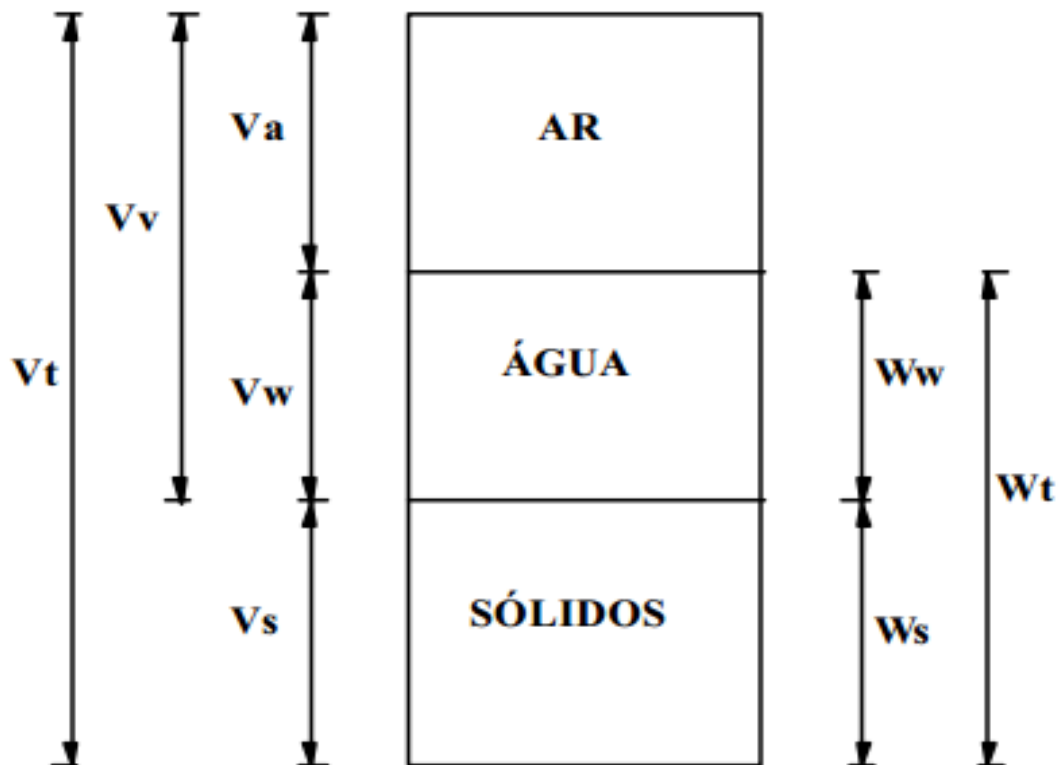
Figura 3 - Três fases do solo.



Fonte: Próprio autor, 2014.

Essas fases determinam o comportamento dos solos, de acordo com as quantidades de cada parte. Admitindo uma amostra idealizada, onde as três fases do solo sejam definitivamente isolada, como apresentada na Figura 4, têm-se os determinados volumes representados na extremidade esquerda da figura e na extremidade direita são representados os determinados pesos.

Figura 4 - Fases do solo.



Fonte: www.ftp.ifes.edu.br/cursos/Transportes.

onde:

V_t = volume total da amostra;

V_s = volume da fase sólida da amostra;

V_w = volume da fase líquida;

V_a = volume da fase gasosa;

V_v = volume de vazios da amostra = $V_a + V_w$;

W_t = peso total da amostra;

W_a = peso da fase gasosa da amostra;

W_s = peso da fase sólida da amostra;

W_w = peso da fase líquida da amostra.

Os índices físicos dos solos, tais como teor de umidade, grau de saturação, índice de vazios, massa e peso específico, densidade dos grãos e porosidade são obtidos através de relações entre os volumes e pesos das três fases que o solo apresenta.

Alguns índices físicos são obtidos por meio de ensaios laboratoriais, tais como o teor de umidade, o peso específico aparente e o peso específico dos sólidos, os demais índices são encontrados através de uma correlação entre os previamente conhecidos.

Umidade (w): é a relação entre o peso da água (w_w) e o peso dos sólidos (w_s). Os valores resultantes dessa razão vai de 0 a infinito. Para a determinação desse índice físico em laboratório o solo em seu estado natural é pesado e colocado em uma estufa mantida entre 105°C 100°C durante 24 horas e pesado novamente. O peso da água é obtido pela diferença entre o peso úmido e o peso seco, e colocado na fórmula:

$$w = \frac{w_w}{w_s} \quad \text{Equação 1}$$

Peso específico dos sólidos (γ_s): Trata-se de uma característica dos sólidos que relaciona o peso das partículas sólidas e seu volume, que pode ser obtido em laboratório com o auxílio de um picnômetro.

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \quad \text{Equação 2}$$

Peso específico aparente úmido (γ_u): Para sua determinação em laboratório molda-se um cilindro do solo cujas dimensões conhecidas permitem calcular o volume, logo o peso natural é obtido pela razão entre o peso total e o volume total:

$$\gamma_u = \frac{P_t}{V_t} \quad \text{Equação 3}$$

Peso específico aparente seco (γ_d): calculado a partir do peso específico natural e da umidade, corresponde ao peso específico se o solo pudesse ficar completamente seco sem variação do volume. É a relação entre o peso dos sólidos (γ_s) e o volume total (v_t).

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{V_t} \quad \text{Equação 4}$$

Peso específico aparente saturado (γ_{sat}): É o peso específico do solo caso o mesmo ficasse saturado sem a variação de volume, dada pela razão:

$$\gamma_{sat} = \frac{P_{sat}}{V_t} \quad \text{Equação 5}$$

Peso específico submerso (γ_{sub}): Peso específico do solo quando submerso. É obtido pela diferença entre o peso específico natural e o peso específico da água.

$$\gamma_{sub} = \gamma_n - \gamma_w \quad \text{Equação 6}$$

Índice de vazios (e): É obtido pela relação entre o volume de vazios (v_v) e o volume de partículas sólidas (v_s). O valor resultante geralmente varia entre 0,5 e 1,5, com exceção das argilas orgânicas que podem chegar a 3.

$$e = \frac{v_v}{v_s} \quad \text{Equação 7}$$

Porosidade (n): Trata-se da razão entre o volume de vazios (v_v) e o volume total (v_t), com valores entre 30 e 70%, geralmente.

$$n = \frac{v_v}{v_t} \quad \text{Equação 8}$$

Grau de saturação (S): É a razão entre o volume de água e o volume de vazios. Varia de 0 a 100%, para solos secos e saturados, respectivamente.

$$S = \frac{v_w}{v_v} \quad \text{Equação 9}$$

2.4 UTILIZAÇÃO DOS SOLOS E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A utilização do solo como material de construção para proteção contra as intempéries vem desde as civilizações mais antigas, mais especificamente com o material ainda cru, mas com o passar dos anos foi notório a evolução da forma de utilização do mesmo, advindo do aumento de tecnologias envolvidas no processo de fabricação de materiais provenientes do solo como matéria prima, fornecendo-o propriedades adicionais devido ao processo submetido, tornando-o além de mais resistente, mais eficiente em sua utilização (SANTIAGO, 2001).

O aperfeiçoamento dos processos que envolvem o beneficiamento dos solos, assim como a utilização de resíduos gerados pelos mesmos, vem se tornando práticas crescentes, devido ao contínuo aumento da demanda de materiais na construção civil.

O resíduo é o resultante do processamento de um material, utilizado para obtenção de produtos variados utilizados em diversas áreas. Para todo processo de obtenção dos produtos finais, há geração de resíduo, pois nenhuma matéria prima é totalmente aproveitada em um mesmo contexto.

Ao longo de sua existência, o homem sempre utilizou os recursos naturais do planeta e gerou resíduos com pouca ou nenhuma preocupação, já que os recursos eram abundantes e a natureza aceitava passivamente os despejos realizados (MODESTO *et al.*, 2003, p. 34).

O crescimento econômico advindo do avanço tecnológico, sobretudo nas indústrias, causou um aumento da demanda de recursos naturais, elevando o surgimento de materiais descartados. O uso indiscriminado do meio ambiente para obtenção de produtos de relevância no cotidiano das pessoas, também resultou numa crescente formação de resíduos, ocasionando problemas socioeconômicos. Contudo surgiu a preocupação com o descarte e necessidade de reaproveitamento desses materiais (MODESTO *et al.*, 2003).

2.5 PROCESSO DE BRITAGEM

A britagem é uma das possíveis soluções para suprir a necessidade crescente de agregados, pois os mesmos, em sua forma natural, estão cada vez mais difíceis de ser encontrados. Dessa forma, os processos utilizados na britagem têm como objetivo a obtenção desse material, através da degradação de rochas em diversos diâmetros menores, originando os agregados artificiais (LODI, 2006).

Em relação à sequência de operação da britagem para aquisição dos agregados, inicia-se na extração da rocha e fragmentação secundária, onde se produz tamanhos de rochas menores, com o auxílio de dinamites e perfurações, para que possam ser transportados até o britador. Em seguida, as rochas extraídas passam pelo britador primário, secundário, terciário e quaternário, para obtenção de tamanhos de partículas cada vez menores com a evolução de cada processo, até a obtenção de agregados com diâmetros de até 0,075 mm. Após a quebra, é realizado o peneiramento e lavagem, que separa os grãos em tamanhos diferentes e retira os finos dos grãos, para a classificação dos materiais de acordo com exigências de normas regulamentadoras ou comerciais (LODI, 2006).

A lavagem é um processo da britagem responsável pela retirada dos finos de diâmetros com tamanhos menores que 0,075mm que ficam envolto dos grãos maiores de agregados, obtidos pelos processos supracitados.

O processo de britagem das rochas gera, basicamente 5 tipos de produtos que são separadas por grupos de acordo com os diâmetros equivalentes, como pode ser observado na Tabela 1. No entanto, para fins comerciais, apenas as britas 1, 2 e 3 têm aplicações nobres na engenharia, enquanto a brita 0 e o pó de pedra, quando sua origem são de rochas calcárias, têm apenas utilizações marginais, causando problemas devido à falta de estrutura para estocagem desse material, acarretando graves impactos ambientais, pela geração de poeira (BISPO, 2003).

Tabela 1 – Frações granulométricas da britagem das rochas.

Brita	Tamanho (mm)
3	70-50
2	50-25
1	25-12,5
0	12,5-4,8
Pó de pedra	menor que 4,8

Fonte: BISPO, 2003.

2.6 PÓ DE BRITA

O Rio Grande do Norte detém a maior reserva de calcário do Brasil, sendo o mesmo considerado de boa qualidade (por não apresentar impurezas), que pode ser percebida pela sua coloração branca/acinzentada. Mossoró e cidades circunvizinhas, tais como Apodi, Assu e Governador Dix-Sept Rosado, se encontram acima do reservatório dessas rochas (NASSIF, 2011). A exploração das rochas para processo de britagem realizado nessa região é de origem calcária.

O pó de brita, também conhecido como pó de pedra, areia artificial, finos de pedra britada, finos de britagem, finos de pedreira e areia clonada, dependendo da bibliografia, se trata do resíduo gerado da exploração das pedreiras e representado

por 15 a 20% da produção em uma instalação de britador, devido a desintegração mecânica das rochas (SÁ, 2006).

A maior característica do pó de brita é obtida por sua granulometria, pois as demais propriedades químicas e mineralógicas presentes serão herdadas da rocha que passou pelo processo de quebra. De acordo com NEVES *et al.* (2001), quando o pó de brita é proveniente de rochas graníticas, geralmente apresentam forma cúbica e superfícies rugosas. No caso do pó de brita de origem calcária, ainda não há uma definição exata quanto à utilização do mesmo como material de construção, apesar de ser conhecida a utilização do calcário como agregados e na fabricação de cimentos e argamassas.

O problema na substituição da areia natural, pela areia artificial (diâmetros nos quais se enquadram o pó de brita) está relacionada às máquinas do processo de britagem, que formam partículas de areias com geometria alongada ou lamelar, enquanto o formato adequado para a utilização do mesmo no concreto é um cúbico arredondado. No entanto, algumas máquinas utilizadas, já fornecem as partículas em formato e textura adequadas para a substituição da areia natural. (BISPO, 2003).

Além da granulometria, para que ocorra a substituição da areia natural pela areia artificial, são necessárias outras propriedades de resistência, integridade das partículas e que o material seja inerte, para evitar a ocorrência de reações que possam trazer eventuais problemas, em sua utilização.

Os finos das pedreiras devidamente processados podem vir a substituir a areia natural, porém para isso eles devem possuir algumas características tais como: distribuição granulométrica, forma e textura superficial adequadas, resistência mecânica, estabilidade das partículas e ausência de impurezas (BISPO, 2003, p. 3).

Tentativas de possíveis utilizações de resíduos finos de britagem de diversos tipos de rochas, já podem ser encontradas em trabalhos acadêmicos. Bispo (2003) estudou a obtenção de areia artificial a partir de finos de brita para a obtenção de areia artificial para concreto fino e fino para argamassa. MENOSSI *et al.* (2004), analisaram a substituição do agregado miúdo no concreto pelo pó de brita, em diferentes porcentagens (de 25% a 100%), concluindo que não houve comprometimento da resistência e trabalhabilidade, utilizado o cimento CP II F 32, além de aprimorar suas características, tais como a compacidade, o tornando mais durável.

Há percepção de que um grande número de pesquisas de aplicabilidade do material estudado neste trabalho e refere ao uso do mesmo para substituir parcialmente ou totalmente a areia natural presente no concreto.

Por outro lado, o pó de pedra também é motivo de outras pesquisas, como o da recuperação de finos de pedreira para utilização como insumo na indústria cerâmica, na qual as propriedades químicas dos resíduos são mais importantes do que a granulometria. Nesta linha, BARBATO (2002) analisou a purificação do feldspato contido nos finos de Nefelina Sienito, resultante da produção de brita para a construção civil.

O pó de brita também pode ser incorporado em camadas de sub-base com o objetivo de deixar a mesma com características físicas e mecânicas necessárias para sua eficaz utilização. De acordo com pesquisas de TOLEDO *et. al.* (2012), quando aplicado o resíduo à camada de sub-base do pavimento aeroportuário, em fração de 20% do volume, o mesmo apresentou uma diminuição na frequência de fissuras de retração superficial, além do incremento na densidade máxima de compactação em 5% e 20% nos valores dos ensaios de *proctor* modificado e CBR, respectivamente.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

A caracterização dos solos se torna um procedimento relevante quando se trata de informar propriedades do solo e o classificá-lo de acordo com suas características. Detalhar e conhecer o perfil de cada solo, e como o mesmo se comportará em solicitações diferentes ajudarão na escolha de possíveis utilizações.

O objetivo da classificação dos solos, sob ponto de vista de engenharia, é poder estimar o provável comportamento do solo, ou pelo menos, orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema (PINTO, 2006).

A dificuldade de classificar um solo advém devido à forma específica no qual o mesmo foi submetido ainda no processo de formação, seja por diferença de temperatura e/ou pressão ou até mesmo a diferença na mineralogia, que pode ser

encontrada até mesmo no mesmo reservatório que o mesmo foi retirado, logo um solo não será igual ao outro.

Com a crescente utilidade do solo, surge a necessidade de obtenção de informações sobre as suas propriedades e o comportamento adotados pelo mesmo, que os parâmetros físicos somente não são capazes de fornecer, logo a classificação é tida como uma ferramenta auxiliar, para obtenção de informações mais específicas, colocando o mesmo em um grupo que melhor se adéque as semelhanças de propriedades entre as amostras já conhecidas e possam fornecer uma margem de segurança quanto ao uso do material (PINTO, 2006).

Para a obtenção da classificação dos solos, algumas séries de procedimentos são utilizadas para se obter informações através da utilização de amostras do próprio solo a ser estudado, realizando ensaios que fornecerão dados empíricos para que com o auxílio de modelos matemáticos ou comparações com valores previamente conhecido e tabelados, regidos pelo órgão regulamentador, se obtenham as informações requeridas sobre a amostra. Todo o processo supracitado, que engloba desde os ensaios até os resultados obtidos, é conhecido como a caracterização de um solo.

Há uma diversidade de ensaios para a caracterização física, química e mineralógica, a avaliação da escolha do método utilizado dependerá das informações necessárias, essenciais para a função requerida, para isso haverá o método que melhor se adeque. As caracterizações dos solos mais comuns são as físicas, que em concomitância com os índices físicos, fornecem as propriedades mais imediatas, também conhecidas como propriedades índices, que relacionam a natureza do solo com suas propriedades mecânicas, tais como sua compactação, resistência, o limite de liquidez (ALMEIDA, 2005).

Os ensaios de caracterização física são habitualmente, os mais realizados devido a simplicidade de realização dos mesmos em relação a relevância das informações obtidas, quando necessário estimar o provável comportamento dos solos. No entanto, para obtenção de resultados mais precisos são necessários ensaios mais específicos, como por exemplo, para a análise sobre a utilização do material para a pavimentação, é importante a realização de ensaios, tais como o CBR, expansão, permeabilidade, compressibilidade, resistência, entre outros, que fornecerão resultados sob o aspecto desejado.

Os processos e métodos utilizados no ensaio, bem como a coleta da amostra a ser analisada são regulamentados pela ABNT, com o objetivo de padronizar o ensaio e evitar erros de execução, obtendo resultados mais corretos.

2.7.1 Análise física

2.7.1.1 Granulometria

A distribuição do diâmetro das partículas podem ser obtidos através da granulometria, através do processo de peneiramento, realizado por um conjunto de peneiras de malhas conhecidas, que irão especificar o tamanho dos grãos de acordo com a peneira ao qual o mesmo ficou retido, logo em uma coluna de peneiras que serão agitadas, o tamanho dos diâmetros são menores quando se aproxima da base da mesma. Para partículas com diâmetros menores que 0,075mm, é realizada a sedimentação, utilizando a velocidade das partículas em um meio líquido para obtenção do diâmetro equivalente das mesmas, através da fórmula de Stokes.

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \times \mu} \times D^2 \quad \text{Equação 10}$$

A classificação dos solos através da sua granulometria, são determinados pelos diâmetros equivalentes de seus grãos, como pode ser observado na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Classificação dos solos quanto à granulometria.

Classe	Diâmetro, d (mm)
Bloco de rocha	d > 1000
Matacão	200 < d ≤ 1000
Pedra	60 < d ≤ 200
Pedregulho	2 < d ≤ 60
Areia	0,6 < d ≤ 2

Classe	Diâmetro, d (mm)
Areia Média	$0,2 < d \leq 0,6$
Areia Fina	$0,06 < d \leq 0,2$
Silte	$0,02 < d \leq 0,06$
Argila	$d \leq 0,02$

Fonte: ABNT (Rochas e solos – NBR 6502,1995).

2.7.1.2 Massa específica

A determinação da massa específica dos grãos de solos que passam pela peneira de 4,8 mm é realizada com o auxílio do picnômetro através de dois ensaios, ambos regidos pela NBR 6508/1984. Onde serão realizadas combinações de pesagens de frascos com a amostra e com volumes conhecidos, para a obtenção da massa específica através da fórmula:

$$\mu = \frac{Massa}{Volume} \quad \text{Equação 11}$$

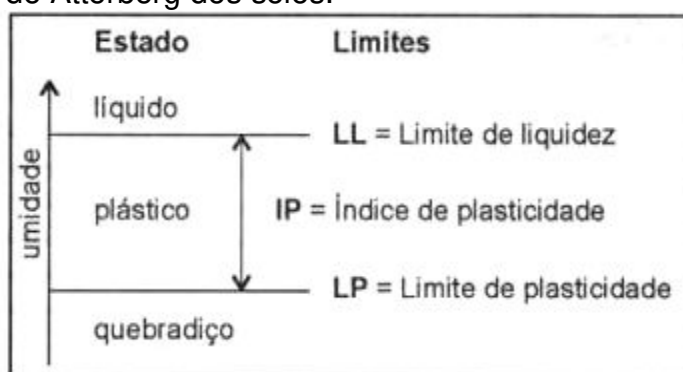
2.7.1.3 Limites de consistência

Os limites de Atterberg ou limites de consistência identificam os teores de umidade necessários para a mudança de estado do solo com diâmetros efetivos menores que 0,075 mm, são limitados pela liquidez e plasticidade em que o mesmo apresenta, quando em presença de umidade. De acordo com Pinto (2006) os limites de liquidez e de plasticidade dependem, geralmente, da quantidade e do tipo da argila presente no solo. O índice de plasticidade, entretanto, é unicamente dependente da quantidade de argila.

Os limites se baseiam na constatação de que um solo argiloso ocorre com aspectos bem distintos conforme o seu teor de umidade. Quando muito úmido, ele se comporta como um líquido; quando perde parte de sua água, fica plástico; e quando mais seco, torna-se quebradiço (PINTO, 2006 *apud* BEZERRA, 2013, p. 35).

O limite de liquidez corresponde ao fechamento de uma ranhura feita na amostra, previamente umedecida, com o auxílio de um aparelho chamado Casagrande, no qual o mesmo golpeia 25 vezes, o recipiente côncavo que contém a amostra. O limite de plasticidade é caracterizado pelo teor de umidade solicitado para a realização de um cordão com a amostra com diâmetro de 3 mm e comprimento de 12 cm a 15 cm. A diferença desses dois limites, é igual ao índice de plasticidade, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Limites de Atterberg dos solos.



Fonte: PINTO, 2009.

2.7.1.4 Compactação dos solos

A compactação informa se as propriedades do solo estudado atende aos critérios de compactação exigidos em cada caso específico, densificando o solo ou reduzindo os índices de vazios desejáveis deixando-o mais homogêneo e melhorando algumas de suas propriedades, a partir desse processo. O ensaio de compactação determina a umidade ótima, que corresponde ao teor de umidade que melhor é obtida a acomodação das partículas sem que ocorra a prisão do ar presente nos espaços vazios. A realização do ensaio de compactação simples consiste na aplicação de energia a amostra que será colocada em um molde de

volume conhecido, gradativamente em camadas que deverá ocupar frações da altura do molde cilíndrico de cada vez, para serem acometidos com golpes de um soquete em cada camada. A quantidade de energia de compactação requerida é influenciada pelo tamanho do molde, bem como quantidade de camadas e golpes realizados. Com os dados de massa específica da amostra e o teor de umidade, é obtido o gráfico de compactação.

2.7.2. Classificação dos solos

A elaboração de um sistema de classificação parte de conhecimentos qualitativos e quantitativos existentes obtidos através de ensaios e experiências sob o comportamento dos solos, que aglutinam informações acumuladas ao longo do tempo, com o objetivo de corrigir distorções, para formações de grupos que possam estabelecer características semelhantes e prováveis comportamentos do mesmo.

O Sistema de Classificação Unificada dos Solos (SUCS) foi criado pelo Prof. Casagrande, para obras de aeroporto, no entanto, seu emprego foi generalizado em diversas áreas afins, sobretudo na geotecnica, com a utilização de dados granulométricos e dos limites de consistência, os solos são identificados pela combinação de suas letras correspondentes para a classificação do mesmo, de acordo com a porcentagem predominante de cada solo. (PINTO, 2006).

A classificação se inicia com a análise da porcentagem de finos presentes no solo, considerando a quantidade de material passante na peneira nº200, para determinar se o solo detém da granulação grosseira ou fina, caso seja menor ou maior que 50%, respectivamente (PINTO, 2006). Para cada classificação realizada, há métodos a ser seguidos para a obtenção da característica secundária, tais como, por exemplo, o CNU (Coeficiente de Não Uniformidade), em solos granulares e a utilização da carta de plasticidade, em solos de granulação fina.

O HRB (Highway Research Board) ou Sistema Rodoviário de Classificação se trata da classificação dos solos baseados na granulometria e nos limites de

Atterberg, originado nos Estados Unidos e normatizado pela AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) M145 (1973). (PINTO, 2006).

Análogo ao início do SUCS, o HRB também é obtido através da porcentagem passante na peneira de nº 200 para ser dividido em solos finos ou granulares, caso a porcentagem seja maior ou igual/menor que 35%, respectivamente. Há utilização de métodos para a realização da subdivisão de cada solo que são determinadas através de números que variam de 1 a 7 seguidos da letra A. Também é realizado o cálculo de Índice de Grupo (IG), para uma maior segurança nos resultados, que corresponde a um número inteiro que varia de 0 (solo ótimo quanto a capacidade de suporte) a 20 (solo péssimo quanto a capacidade de suporte). O IG é obtido através da fórmula:

$$IG = (F_{200} - 35) \times [0,2 + 0,005 \times (LL - 40)] + 0,01(F_{200} - 15) \times (IP - 10) \quad \text{Equação 12}$$

Onde,

F_{200} : Porcentagem passante na peneira nº 200;

LL: Limite de liquidez;

IP: Índice de plasticidade.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. METODOLOGIA

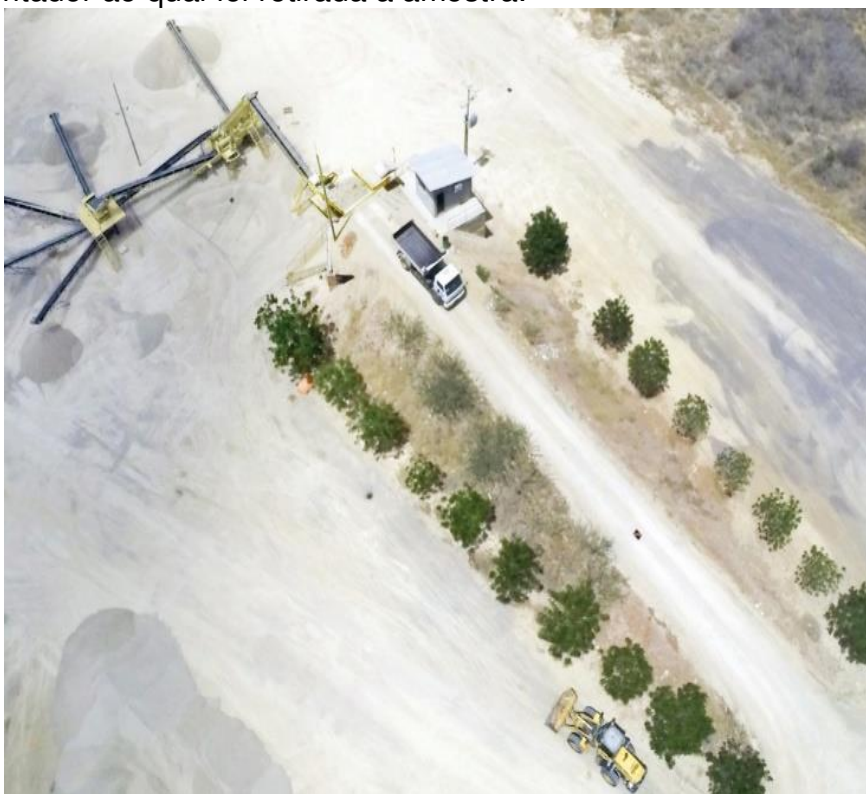
Para a obtenção do conhecimento teórico sobre assunto abordado, houve uma pesquisa bibliográfica prévia, onde foram consultados artigos e trabalhos científicos publicados na internet, de discentes e docentes de instituições públicas federais, bem como a utilização de literaturas de autores conhecidos no âmbito do comportamento dos solos, tais como o Carlos de Souza Pinto e Carlos Leite Maciel Filho. A pesquisa bibliográfica também foi realizada concomitantemente com o desenvolvimento deste trabalho, sendo necessárias consultas de normas que auxiliasse nos ensaios de caracterização ou para acesso de conceitos que surgiam de acordo com o desenvolvimento do referencial.

A realização dos ensaios foi baseada em métodos regulamentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, determinando desde a coleta e preparação da amostra até os procedimentos necessários para cada ensaio físico, nos quais foram realizados nos laboratórios de solos e pavimentação da UFERSA Mossoró.

3.2. LOCALIZAÇÃO DA JAZIDA

A amostra de solo recolhida para a realização dos ensaios de caracterização foi obtida em um britador (Figura 6), na cidade de Mossoró, localizado nas proximidades da BR-304, no acesso que liga Mossoró a Natal. Este local foi escolhido devido à facilidade de acesso pelo descarte do resíduo em questão, para que ao ser caracterizado e ter informações sobre as propriedades do mesmo possa se conhecer possíveis aplicações que o deixem comercializável, e minimizem o impacto ambiental causado na região pelo transporte de materiais finos na redondeza do britador.

Figura 6 - Britador ao qual foi retirada a amostra.



Fonte: Próprio autor, 2014.

3.3. MATERIAL

O pó de brita é um resíduo fino, resultante do processo de beneficiamento das rochas calcária obtidas na região. Esse beneficiamento consiste na quebra do material em diâmetros menores exigidos pela demanda comercial.

3.4. COLETA DA AMOSTRA

Com a realização dos ensaios em laboratório, será efetuada a caracterização do pó de brita, determinando suas propriedades físicas para possibilitar a análise da utilização desse resíduo de britagem.

A amostra de pó de brita, coletada aleatoriamente de pilhas desse resíduo e transportada em recipientes plásticos, ao Laboratório de Mecânica dos Solos e

Pavimentação da Universidade Federal do Semi-Árido, Campus Central, para serem submetidas a ensaios de caracterização física do solo, tais como a granulometria, compactação e os limites de consistência.

3.5. ANÁLISE FÍSICA

Para iniciar os procedimentos de caracterização do ensaio, foi realizada a pesagem da amostra do solo, de acordo com a NBR 6457/1986 que rege os métodos utilizados durante o processo de preparação de amostras de solo para os ensaios de compactação e de caracterização, além da determinação do teor de umidade dos solos, em laboratório.

3.5.1. Análise granulométrica

Após preparada a amostra, realizou-se o ensaio de granulometria, através do processo de peneiramento, regido pela NBR 7181/1984. A amostra foi previamente analisada visualmente, e percebida a presença de pedregulhos na amostra, determinando a quantidade de 2 kg para a realização dos ensaios.

Para a separação de material, a amostra foi peneirada na peneira nº 10 (2 mm), logo o material retido e o passante, é considerado grosso e fino, respectivamente. Em seguida ambos foram pesados.

O material retido foi lavado, como apresentado na Figura 7, para a retirada de partículas menores que ficaram envoltos dos grãos maiores que pudessem ocasionar erros na pesagem e fornecer resultados inseguros, devido à presença das mesmas. Em seguida o mesmo foi levado a estufa e mantido a uma temperatura de 105°C a 110°C durante 24 horas.

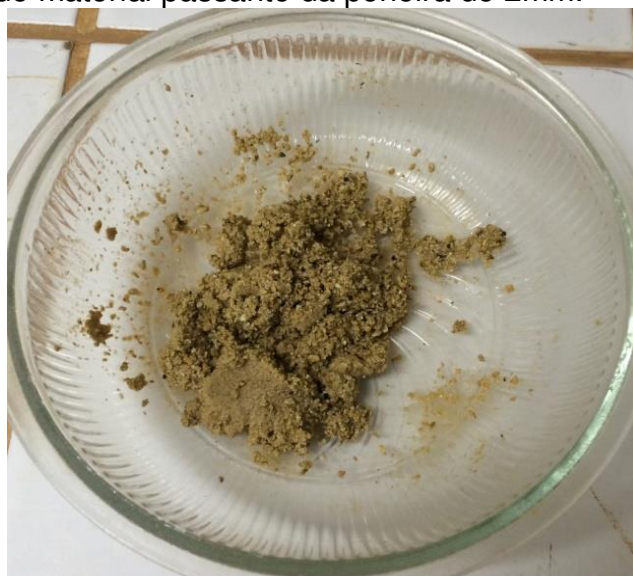
Figura 7 - Amostra do material retido na peneira de 2 mm



Fonte: Próprio autor, 2014

Do material passante foram pesados 120g, lavados na peneira nº 200 e levado à estufa durante 24 horas para o peneiramento fino, de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Amostra do material passante da peneira de 2mm.



Fonte: Próprio autor, 2014.

Ainda sobre o material passante na peneira nº10, foram retiradas três amostras (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) para determinação do teor e umidade, que relaciona os pesos das amostras antes e depois de colocadas na estufa.

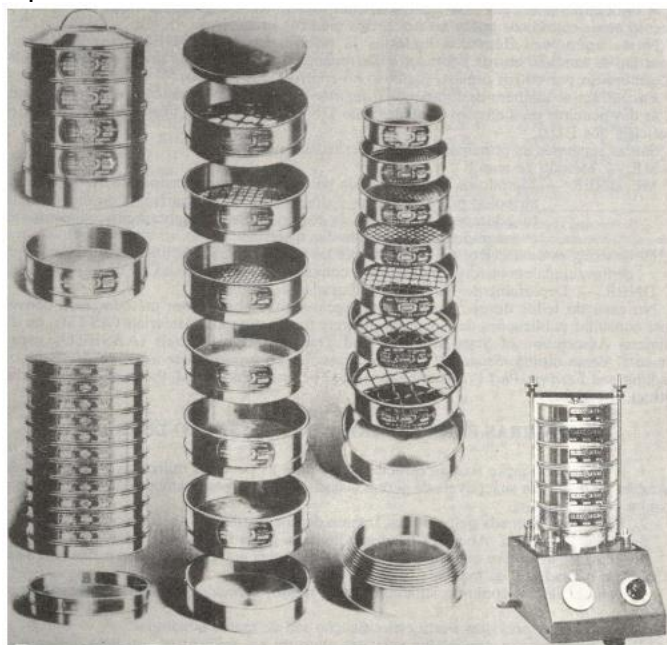
Figura 9 - Amostra do material para a retirada da umidade higroscópica.



Fonte: Próprio autor, 2014.

Após secagem das amostras separadas anteriormente, é realizado o peneiramento com as amostras secas para o fornecimento da quantidade de amostras retida em cada peneira de malhas conhecidas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 10 - Série de peneiras de abertura de malhas conhecidas.



Fonte: ABNT/NBR 5734/80.

O ensaio de sedimentação e compactação foi realizado em outro laboratório.

3.5.2. Limites de consistência

Para os limites de liquidez e plasticidade foram pesados 100 g do material passante na peneira nº 40, para cada em ensaio.

3.5.2.1. Limite de plasticidade

Com o auxílio da NBR 7180/1984, para a determinação do limite de plasticidade foi umedecida a amostra até ser possível a formação de, no mínimo 3, corpos cilíndricos de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, como pode ser visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, logo o limite de plasticidade é obtido quando não se é possível formar esse corpo, sem presenças de trincas ou quebras do mesmo, como o obtido abaixo.

Figura 11 - Corpos cilíndricos com presença de trincas e quebradiços.



Fonte: Próprio autor, 2014.

Quando ocorrido quebra ou presença de trincas na formação do corpo, o mesmo foi levado a um recipiente, para a pesagem e levado a estufa à 110° C, durante 24 horas para obtenção do peso seco e realização dos cálculos com os dados obtidos.

3.5.2.2. Limite de liquidez

A princípio da realização do ensaio, foi necessário a calibração do aparelho Casagrande para obtenção do limite de liquidez, de acordo com o regimento da NBR 6459/1984, que também ocorreu com o umedecimento da amostra e manuseando-a de tal modo que o recipiente côncavo do aparelho ficasse com 2/3 de seu volume ocupado. Em seguida foi realizada uma ranhura com o auxílio do cinzel, como pode ser observado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, para que então o asagrande pudesse ser ligado, e a contagem da quantidade de golpes necessários para o fechamento dessa ranhura em 1,3 cm.

Figura 12 - Aparelho Casagrande com amostra do pó de britagem.



Fonte: Próprio autor, 2014.

Para a pesagem, retirou-se uma amostra da parte mais central, onde foi fechada 1,3 cm de sua espessura, ao finalizar todos os 5 pontos, as amostras foram colocadas na estufa e mantida entre 105°C e 110°C durante 24 horas para obtenção do peso seco, realizar os cálculos e traçar o gráfico.

De acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, pode ser observadas as amostras dos limites de liquidez e limite de plasticidade colocadas na estufa, após serem pesadas.

Figura 13 - Amostras do solo na estufa.



Fonte: Próprio autor, 2014.

3.5.3. Compactação

De acordo com a NBR 6457/1986 para preparação de amostras para compactação sem o reuso do material, foram pesados 25 kg do mesmo nos quais foram passados integralmente na peneira de 4,8 mm e obtida à umidade higroscópica.

Para o ensaio de compactação *Proctor* com energia normal, foram obtidos 5 corpo de prova, como o da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, e colhidos amostras, para conhecer o teor de umidade de cada amostra utilizando o peso das massas úmidas e secas, esta última possível após a secagem durante 24 horas em uma estufa, com temperatura mantida entre 105°C e 110°C.

Figura 14 - Amostra do solo compactada.



Fonte: Próprio autor, 2014.

Ainda de acordo com a NBR 6457/1986, o solo foi compactado utilizando-se o molde grande (diâmetro de aproximadamente 150mm), com cinco camadas de amostras compactadas com o soquete grande (4,5kg), executando 12 golpes, em cada uma delas, parte do processo apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 15 - Processo de compactação do solo



Fonte: Próprio autor, 2014

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE FÍSICA DO PÓ DE BRITA

4.1.1 Granulometria

Após os processos de peneiramento e sedimentação foram obtidos os valores da Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Resultados obtidos no ensaio de granulometria.

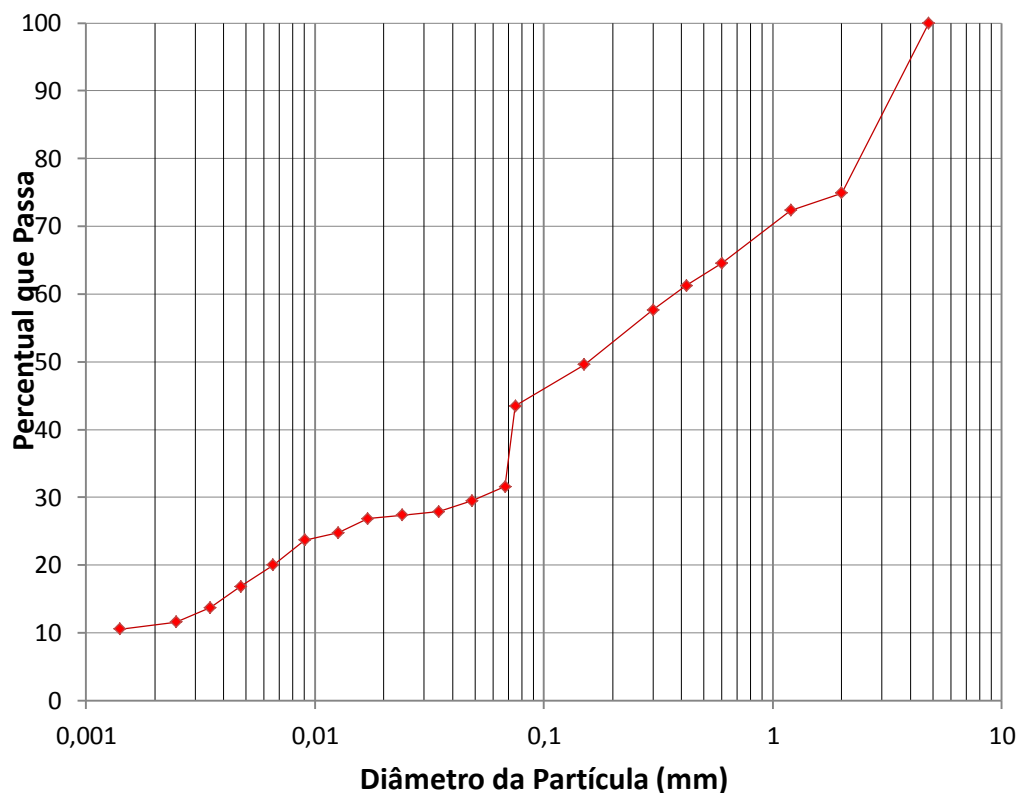
	Peneira	Diâmetro (mm)	% Passante
Peneiramento grosso e fino	2"	50,000	100,000
	1 1/2"	38,000	100,000
	1"	25,000	100,000
	3/4"	19,000	100,000
	3/8"	9,500	100,000
	4	4,800	100,000
	10	2,000	74,870
	16	1,200	72,323
	30	0,600	64,535
	40	0,420	61,224
	60	0,300	57,638
	100	0,150	49,554
	200	0,075	43,466
Sedimentação	-	0,068	31,592
	-	0,049	29,486
	-	0,035	27,906
	-	0,024	27,380
	-	0,017	26,853
	-	0,013	24,747
	-	0,009	23,694
	-	0,007	20,008
	-	0,005	16,849
	-	0,003	13,690
	-	0,002	11,584
	-	0,001	10,531

Fonte: Próprio autor, 2014.

Observando a curva granulométrica no gráfico 01, pode ser notado que a curva apresenta um degrau que a maior porcentagem da graduação correspondente aos diâmetros das areias.

Gráfico 1 - Resultado da análise granulométrica.

Curva Granulométrica



Fonte: Próprio autor, 2014.

De acordo com a Tabela 4 com as porcentagens de cada diâmetro de acordo com a ABNT. A caracterização do pó de brita de sua granulometria pode ser especificada como uma areia de variações fina, média e grossa, obtendo 43% de sua totalidade.

Tabela 4 – Porcentagem das frações granulométricas.

Classe	Porcentagem (%)
Bloco de rocha	0
Matacão	0
Pedra	0
Pedregulho	26
Areia grossa	9
Areia média	12
Areia fina	22
Silte	20
Argila	11

Fonte: NBR 6502/1995.

4.1.2 Limite de Plasticidade

Solos considerados não plásticos são aqueles para os quais não se consegue a realização do ensaio, ou seja, sua moldagem na presença de água. Realizados os processos do Limite de Plasticidade e obtidos 5 corpos de provas com dimensões exigidas pela NBR 7180/84, os valores podem ser observados na Tabela 5, com o teor de umidade médio de 15,88%, determinando que o mesmo apresenta um comportamento plástico baixo.

Tabela 5– Resultados do ensaio de limite de plasticidade.

Limite de Plasticidade				
Amostra	Cápsula (g)	Cápsula com amostra úmida (g)	Cápsula com amostra seca (g)	Umidade (%)
1	4,415	5,492	5,345	15,81
2	4,633	5,904	5,734	15,44
3	3,741	4,832	4,669	17,56
4	4,935	6,197	6,007	17,72
5	4,629	5,467	5,371	12,94

Fonte: Próprio Autor, 2014.

4.1.3 Limites de liquidez

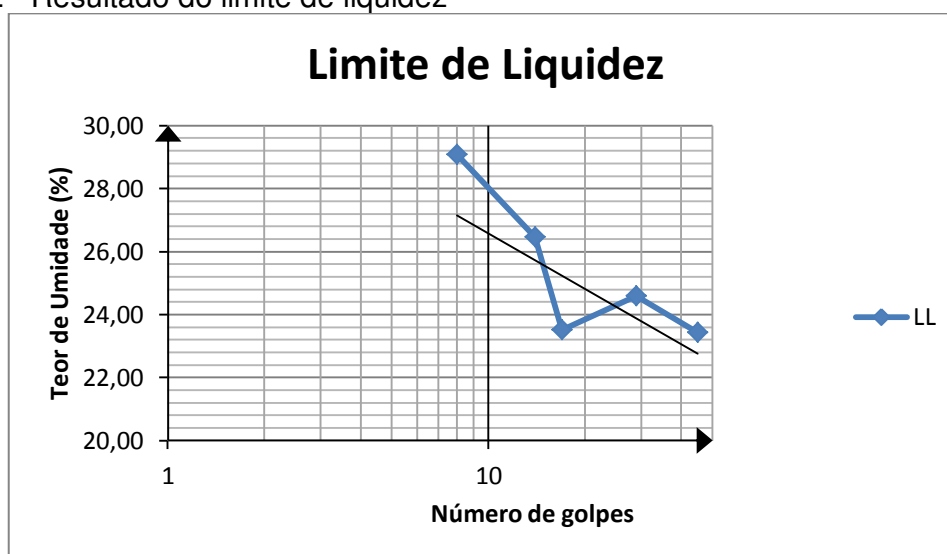
De acordo com a NBR 6459/84, o limite de liquidez é obtido com o auxílio do aparelho Casagrande e com a quantidade de umidade necessária para que uma ranhura feita na amostra do solo se feche em 1,3 cm, com 25 golpes. Como pode ser percebido nos resultados obtidos Tabela 6, o limite de liquidez, encontra-se entre os valores das amostras 2 e 4, mais precisamente admitindo o valor do teor de umidade em 24,2%.

Tabela 6– Resultado do ensaio de limite de liquidez.

Limite de Liquidez					
Amostra	Cápsula (g)	Cápsula com amostra úmida (g)	Cápsula com amostra seca (g)	Nº de golpes	Umidade (%)
1	4,81	24,914	21,099	45	23,42
2	4,878	15,870	13,701	29	24,58
3	3,934	18,865	16,022	17	23,52
4	4,938	17,930	15,211	14	26,47
5	4,703	20,700	17,096	8	29,08

Fonte: Próprio autor, 2014.

Gráfico 2 - Resultado do limite de liquidez



Fonte: Próprio autor, 2014.

4.1.4 Compactação

Devido problemas envolvendo os resultados do ensaio de compactação, os valores do ensaio foram obtidos em outro laboratório de acordo com a NBR 7182/86, conforme Tabela 7.

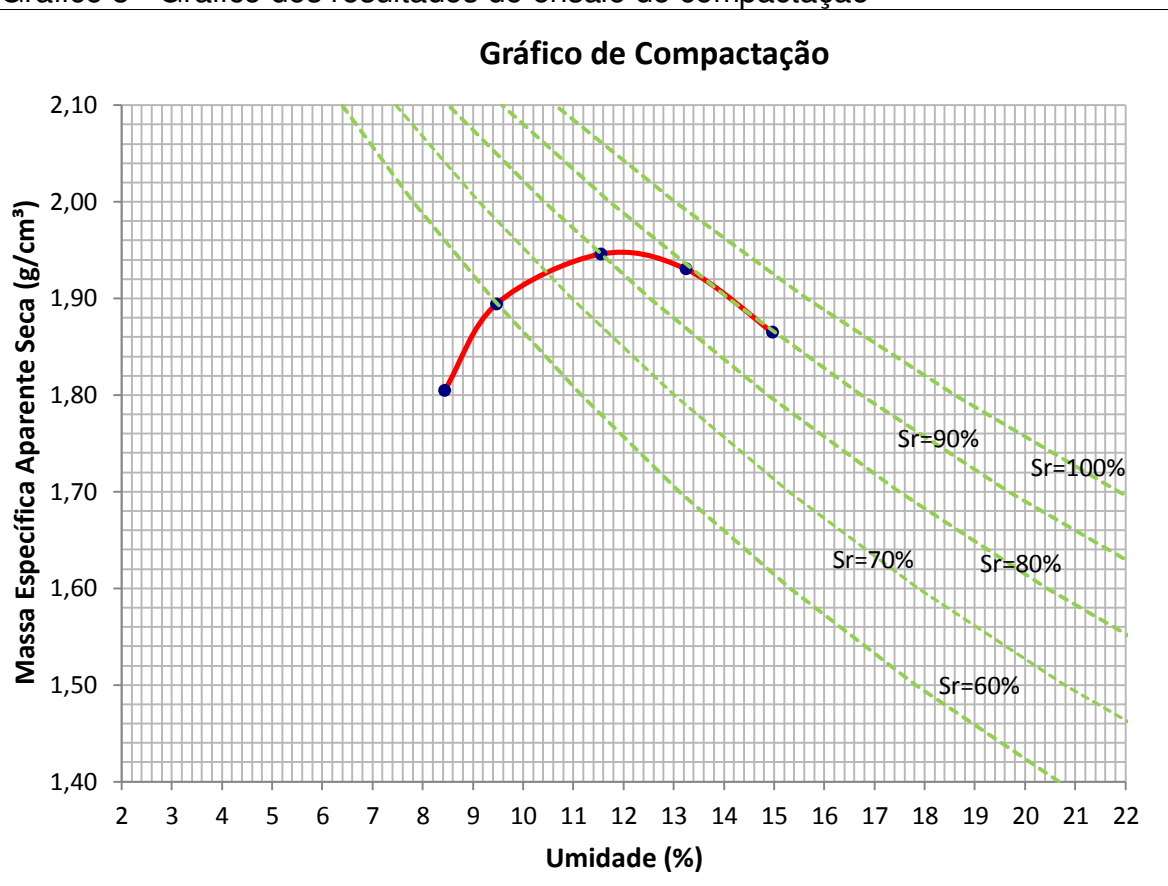
Tabela 7– Resultados do ensaio de compactação

Ensaio de compactação					
Cilindro:	3	Peso do cilindro (g):	2511,30	Volume do cilindro (cm³):	997,21
Peso do cilindro + solo úmido (g):			4462,70	4579,10	4675,60
Peso do solo úmido (g):			1951,40	2067,80	2164,30
Massa específica aparente úmida (g/cm³):			1,96	2,07	2,17
Cápsula:			6-A	1B	M51
Peso da cápsula (g):			16,33	15,89	17,23
Peso da cápsula + solo úmido (g):			92,77	70,65	94,64
Peso da cápsula + solo seco (g):			86,94	65,89	86,68
Teor de umidade (%):			8,26	9,52	11,46
Cápsula:			7,00	M02	05-X
Peso da cápsula (g):			16,00	16,21	16,40
Peso da cápsula + solo úmido (g):			85,15	74,01	87,37
Peso da cápsula + solo seco (g):			79,72	69,01	80,05
Teor de umidade (%):			8,52	9,47	11,50
Cápsula:			1	7A	AM-25
Peso da cápsula (g):			16,45	17,66	16,37
Peso da cápsula + solo úmido (g):			97,64	74,36	85,64
Peso da cápsula + solo seco (g):			91,26	69,48	78,41
Teor de umidade (%):			8,53	9,42	11,65
Teor de umidade médio (%):			8,440	9,420	11,540
Massa específica aparente seca (g/cm³):			1,805	1,894	1,946
Índice de vazios			0,500	0,430	0,390
Porosidade (%)			33,290	29,970	28,070
Grau de saturação (%)			45,730	59,840	80,000

Fonte: Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da UFRN, 2014.

Os valores apresentados logo acima foram obtidos por três repetições do ensaio de compactação para a determinação de um teor de umidade médio, deixando os resultados mais precisos e menos passíveis a erros, ver **Erro! Fonte de eferência não encontrada..**

Gráfico 3 - Gráfico dos resultados do ensaio de compactação



Fonte: Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da UFRN, 2014.

4.1.5 Observações

Durante a realização dos ensaios, houve erros devido à dificuldade enfrentada pela falta de prática em laboratório, pois os ensaios relacionados a mecânica dos solos se tornam um pouco intuitivos, logo precisam de embasamentos experimentais para a eficiência dos resultados. Para alguns ensaios, tais como os de limite de consistência, foram necessárias três realizações para se chegar a um

resultado satisfatório. O mesmo não ocorreu com o ensaio de compactação, que mesmo depois de três tentativas, os resultados não se aproximavam do esperado, havendo variações visivelmente problemáticas para o comportamento dos pontos em cada ensaio, portanto os dados de compactação apresentados no presente trabalho foram obtidos do laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da UFRN.

Outro problema ocorre devido aos resultados de que as caracterizações podem apresentar variabilidade. Por este motivo, essas diferenças entre os resultados tornaram-se motivo de estudos, para entender suas causas e como se pode diminuir o intervalo entre eles.

A oportunidade de vivência em um laboratório torna um estudante de Engenharia capaz de ter percepção sobre os diferentes tipos e propriedades dos solos, e quais resultados podem ser considerados previamente de determinados ensaios. Este conhecimento de solos é visto como um diferencial na vida profissional do indivíduo que pretende seguir na área de pavimentação e afins.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o SUCS, considerando que a porcentagem de finos é maior do que 12%, conclui-se, com base na carta de plasticidade, que se trata de uma areia argilosa, SC. A porcentagem de finos é menor que 50%, logo se trata de um solo granular, com predominância percentual dos diâmetros pertinentes a solos arenosos, o que também podem ser comprovado pelo índice de plasticidade 8,4%, junto com valor do limite de liquidez de 24,2% (caracterizando também baixa plasticidade).

Ainda analisando o solo pelo método HRB, utilizando dos valores obtidos nos ensaios, no qual a porcentagem de finos obtida é de 43,46%, juntamente com os valores de limite de consistência para obtenção do índice de grupo e, de 1,68 para o solo estudado, classificando o mesmo em A-4, que se trata de um solo siltoso não plástico ou moderadamente plástico, de comportamento em subleito de sofrível a mal.

Como foi apresentado, o pó de brita é um resíduo que cresce concomitantemente com a produção de agregados artificiais. Logo, estudos e aplicações que envolvem esse material vem sendo abordados em vários âmbitos da construção civil, seja como substituto parcial ou total do agregado artificial no concreto, ou como insumo na fabricação de cerâmica.

Com os resultados obtidos com os procedimentos de ensaios de caracterização física para obtenção do SUCS, o pó de brita, com atributos de rochas calcárias, quando adicionado aos solos, podem beneficiá-los com o aperfeiçoamento de suas propriedades de plasticidade, resistência, compacidade, entre outros, como por exemplo, em sua utilização parcial em camada de sub-base, adicionando melhorias ao em comportamento geotécnico ao solo.

No trabalho apresentado foi realizada uma caracterização preliminar do resíduo. Outros ensaios, como por exemplo o CBR, em caso de aplicação em aterros, podem ser realizados. Além disso, é necessário analisar a variabilidade dos resultados e devem ser feitas diversas coletas em regiões distintas do britador (pilhas distintas) para verificar aspectos como a homogeneidade do resíduo. O processo de britagem também deve ser estudado para se verificar se existe uma

constância ou se há sensíveis mudanças nas propriedades do material entre uma britagem e outra.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Gil. Caracterização física e classificação dos solos. Juiz de Fora, 2005. 145 p.

ANDRADE, Vinícius Diógenes de. **Processo de exploração da rocha calcária para a fabricação de cimento no oeste potiguar**. 2014. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró, 2014.

Apostila de Solos. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/johngurgel/disciplinas/2.2051.1v-mecanica-dos-solos-1/apostila%20de%20solos.pdf>>. Acesso em: 9 Out. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solos- determinação do limite de liquidez. 1984. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo-preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solos- determinação do limite de plasticidade. 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solos- análise granulométrica – método de ensaio. 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – determinação da massa específica – método de ensaio. 1984. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solos- ensaio de compactação – método de ensaio. 1986. 10 p.

BARBATO, C. N.. **Recuperação de finos de pedreira para utilização como insumo na indústria cerâmica**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

BISPO, Luiz Henrique de Oliveira. **Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras – análise de ensaios**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2003.

DNIT. **Manual de pavimentação**. 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2014.

Ensaio de caracterização em solos. Disponível em: <<http://www.civil.ist.utl>

.pt/~jaime/capitulo2.pdf>. Acesso em: 9 Out. 2014.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Materiais de construção básicos**. 2011. Disponível em: <http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf>. Acesso em: 11 out. 2014.

LODI, Victor Hugo. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento portland na região de Chapecó-sc**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MACIEL FILHO, Carlos Leite. **Introdução a Geologia de Engenharia**. Rio Grande do Sul: Editora UFSM, 2008.

MENOSSE, R. T.; CAMACHO, J. S.; SALLES, F. M.; MELGES, J. L. P. **A influência do uso de pó de pedra nas características do concreto**. In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Instituto Brasileiro de Concreto, Florianópolis, Agosto de 2004.

MODESTO, C. et al. Obtenção e Caracterização de Materiais Cerâmicos a partir de Resíduos Sólidos Industriais. **Cerâmica Industrial**, Cocal do Sul, v. 1, n. 5, p.14-14, ago. 2003.

NASSIF, Luis. **RN tem maior reserva de calcário do Brasil**. Disponível em: <<http://noticiasmineracao.mining.com/2011/12/02/rn-tem-maior-reserva-de-calcario-do-brasil/>>. Acesso em: 07 jan. 2015.

NEVES, L. LIMA J. R. B.; Finos de britagem como agregado substituto às areias naturais – Um estudo de caso. In: 43º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Instituto Brasileiro de Concreto, Foz do Iguaçu, Paraná, Agosto de 2001.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PEREIRA, Kiev Luiz de Araújo. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

SÁ, Maria das Vitórias Vieira Almeida de. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos**. 2006. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. A enorme importância da camada superficial de solos. **Cidadania & Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.1-1, jul. 2012.

SANTIAGO, Cybele Celestino. **O solo como material de construção**. 2. ed. Salvador: Editora da Ufba, 2001. 76 p.

TOLEDO, A. L. L. ; SANTOS JÚNIOR, O. F. ; RODRIGUES, GUEDES, JOHN KENNEDY. **Utilização de Mistura de Solo com Pó de Brita em Camada de Pavimento Aeroportuário**. In: XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2012, Porto de Galinhas. COBRAMSEG 2012, 2012.