

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE SOLO APLICADO EM BASE RECICLADA COM ADIÇÃO DE BRITA NA BR-122

JOÁZY SOUSA LOPES¹

¹Graduando em Engenharia Civil, IFCE, Quixadá-CE, joazysousa1@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar um solo que teve sua granulometria estabilizada com o uso de brita, utilizado na recuperação de um trecho da BR-122, através do procedimento de reciclagem de base com adição de brita. Na metodologia foram realizadas pesquisas bibliográficas por meio de livros, normas técnicas e trabalhos correlatos. Além disso, foram realizados ensaios laboratoriais de compactação e de caracterização (Análise tátil-visual, Limite de liquidez, Limite de plasticidade, Análise granulométrica e Compactação dos solos) e classificação do solo segundo o Sistema de classificação “Transportation Research Board” (TRB), bastante utilizado na Engenharia Rodoviária. Os resultados mostraram que o material solo-brita foi classificado como A-1-b (0), se tratando de um pedregulho arenoso, o que o torna um excelente material para ser utilizado em base de estradas. Além disso, suas propriedades físicas de plasticidade e compactação apontam que o solo, quando compactado, apresenta baixo índice de vazios, o que indica possuir boa estabilidade nessa situação.

PALAVRAS-CHAVE: Base de estradas, Estabilização granulométrica, Geotecnia, Reciclagem de base.

CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF SOIL APPLIED ON RECYCLED BASIS WITH ADDITION OF GRAVEL ON BR-122

ABSTRACT: This work aimed to characterize and evaluate a soil that had its granulometry stabilized with the use of gravel, used in the recovery of a stretch of BR-122 through the base recycling procedure with the addition of gravel. In the methodology, bibliographic research was carried out through books, technical standards and related works. In addition, laboratory compaction and characterization tests were carried out (tactile-visual analysis, liquidity limit, plasticity limit, granulometric analysis and soil compaction) and soil classification according to the classification system "Transportation Research Board" (TRB), widely used in Highway Engineering. The results showed that the soil-gravel material was classified as A-1-b (0), being a sandy gravel, which makes it an excellent material to be used as a base for roads. In addition, its physical properties of plasticity and compaction indicate that the soil, when compacted, has a low rate of voids, which indicates that it has good stability in this situation.

KEYWORDS: Road base, Soil characterization, Grain size stabilization, Geotechnics.

INTRODUÇÃO

Estudar um solo para fins de engenharia civil, especialmente através da Mecânica dos Solos, é algo complexo, visto ser um material particulado com água e/ou ar nos espaços intermediários, havendo interação grão a grão, geralmente heterogêneo e de comportamento diferenciado se comparado aos materiais estudados pela mecânica dos sólidos deformáveis, pois seu comportamento depende da movimentação entre as partículas sólidas (Pinto, 2006).

A base de estradas, construída com solo, é uma importante camada do pavimento, responsável por receber os esforços da camada asfáltica acima dela e distribuí-los para as demais camadas, servindo de fundação para a pavimentação. Para sua construção é necessário a utilização de solo com

características que promovam um bom comportamento. O aproveitamento de um solo de características ruins ou com propriedades indesejáveis para fins de pavimentação pode ocorrer com o emprego de procedimentos de melhoria do solo com agregados, o que é denominado mistura solo-agregado ou solo-brita (SB). Este último, solo-brita, foi aplicado no procedimento de reciclagem de base de subtrechos da rodovia federal BR-122, através do Programa de Contratos de Recuperação e Manutenção Rodoviária – CREMA.

Assim, o objetivo desse estudo é caracterizar essa mistura utilizada de solo e brita, avaliando-a quanto ao uso como material de base no trecho recuperado da BR-122. Espera-se que este trabalho contribua para a disseminação do conhecimento a respeito desse tipo de estabilização granulométrica com os demais profissionais da Engenharia Civil.

MATERIAL E MÉTODOS

Com base nos objetivos, o tipo de pesquisa do presente estudo tem caráter exploratório, que, segundo Gil (2010), visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Dessa forma, envolveu uma pesquisa bibliográfica por meio de livros, normas técnicas e trabalhos correlatos. Além disso, realizou-se uma pesquisa experimental através da realização de ensaios laboratoriais com o solo-brita utilizado em reciclagem de base de estrada, de forma a caracterizá-lo e obter informações a respeito de seus parâmetros de compactação.

A amostra foi retirada de um subtrecho da BR-122 na fase da obra, km 104,57 ao km 104,72, coordenadas iniciais de 05°00'04.9"S 39°02'07.7"W e coordenadas finais de 05°00'08.9"S 39°02'10.5"W, no município de Quixadá, situado na região do sertão central do estado do Ceará, Brasil. Esse subtrecho da rodovia teve sua base reciclada com adição de 25% de brita. Para a caracterização e avaliação do material foi realizada uma série de ensaios, utilizando para isso o laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *campus* Quixadá. A seguir, estão listados os ensaios e as suas respectivas normas:

- Limite de liquidez (DNER-ME 122/94);
- Limite de plasticidade (DNER-ME 082/94);
- Análise granulométrica (DNER-ME 051/94);
- Compactação (DNIT 164/2013-ME);

Inicialmente, foram realizados os ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de plasticidade (LP), também conhecidos por “Limites de Consistência” ou ainda “Limites de Atterberg”. A determinação do LL é feita com a utilização do aparelho de Casagrande, que se trata de uma concha de latão conectada sobre uma base de ebonite, no qual, por meio de um excêntrico, é imprimido à concha quedas sucessivas de um centímetro contra a base. No ensaio, o LL é definido como o teor de umidade necessário para que uma ranhura feita na amostra se feche quando é imprimido 25 golpes na concha do equipamento. Esse valor de umidade é determinado a partir de um gráfico semilogarítmico construído através dos pontos (Teor de umidade, Número de golpes) obtidos pelas tentativas. Teoricamente, o LL é o teor de umidade acima do qual o solo passa a se comportar como um líquido.

Já o ensaio de LP é realizado moldando-se cilindros de solo ao rolar a amostra úmida com a palma da mão sobre uma placa de vidro de superfície esmerilhada. No ensaio, o LP é definido como o teor de umidade necessário para que o cilindro de solo comece a se fragmentar ao atingir as dimensões padrão: 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento. Moldam-se 3 cilindros de solo e, com cada um, determina-se o teor de umidade. O LP é calculado através da média dos três valores de umidade. Teoricamente, o LP é o teor de umidade a partir do qual o solo passa do estado plástico para o semissólido.

Através destes dois valores (LL e LP), é calculado o Índice de Plasticidade (IP), que indica o intervalo de umidade no qual o solo apresenta estado plástico, isto é, quando, em certas condições de umidade, o solo apresenta a capacidade de ser moldado e de atingir grandes deformações permanentes sem sofrer ruptura, fissuramento ou variação de volume apreciável (ABNT, 1995).

Outro importante ensaio realizado foi o de análise granulométrica, que consiste em determinar as dimensões dos grãos que compõem o solo e suas percentagens de ocorrência. Para as partículas com tamanho acima de 0,075 mm essa análise é realizada a partir de uma série de peneiras, determinando

os percentuais passantes em cada uma delas. Foram utilizadas as peneiras com malhas de seguintes aberturas: 50 mm, 38 mm, 25,4 mm, 19,1 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm. Para a parte do solo com partículas menores que 0,075 mm, a análise foi feita com o processo de sedimentação, que se baseia na lei de Stokes, a qual relaciona a velocidade de queda de partículas em um fluido com o quadrado do diâmetro das partículas. Nesse processo, o solo é disperso em água e, através de um densímetro, são realizadas leituras da densidade da suspensão em intervalos de tempo determinados na norma.

Para a classificação do solo, foi utilizado o sistema de classificação TRB (Transportation Research Board), muito empregado na Engenharia Rodoviária. Nele os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função de sua granulometria, Limites de consistência e do Índice de Grupo (IG). “Determina-se o grupo do solo, por processo de eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação. O primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual os valores do solo ensaiado coincidir, será a classificação correta” (DNIT, 2006). O IG é um número inteiro, que varia de 0 a 20, definidor da capacidade de suporte do terreno de fundação de um pavimento (Caputo, 1988). Tomando os seus valores extremos, representa solos ótimos o IG=0, e representa solos péssimos o IG=20.

Tabela 1. Classificação dos Solos TRB

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6					A-2-7
Penetração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	0		0	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Materiais que predominam	Pedra britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltoza ou argilosa			Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fracos a pobres			

Fonte: Manual de Técnicas de Pavimentação

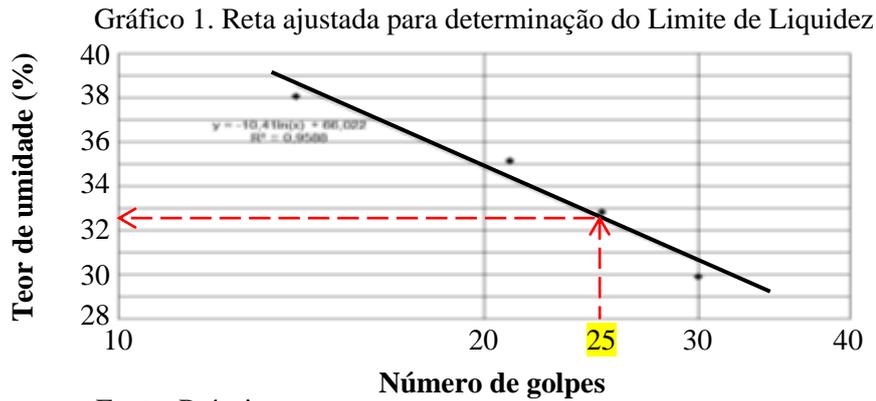
O último ensaio foi o de compactação dos solos, com a energia Proctor modificado. Nele são moldados 5 corpos-de-prova (CP) de solo. Cada CP é moldado em um cilindro (volume de 2140 cm³), em 5 camadas, com 55 golpes de um soquete (peso de 4,536 Kg) em cada camada. Para cada CP, são calculados a massa específica aparente seca e o Teor de umidade. Os pontos (Teor de umidade, Massa específica aparente seca) dos 5 CP's são inseridos em um gráfico e, por esses pontos, é traçada uma curva parabólica, denominada “Curva de compactação”, na qual são determinados a Massa específica aparente seca máxima e o Teor de umidade ótimo, correspondentes à ordenada máxima da curva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

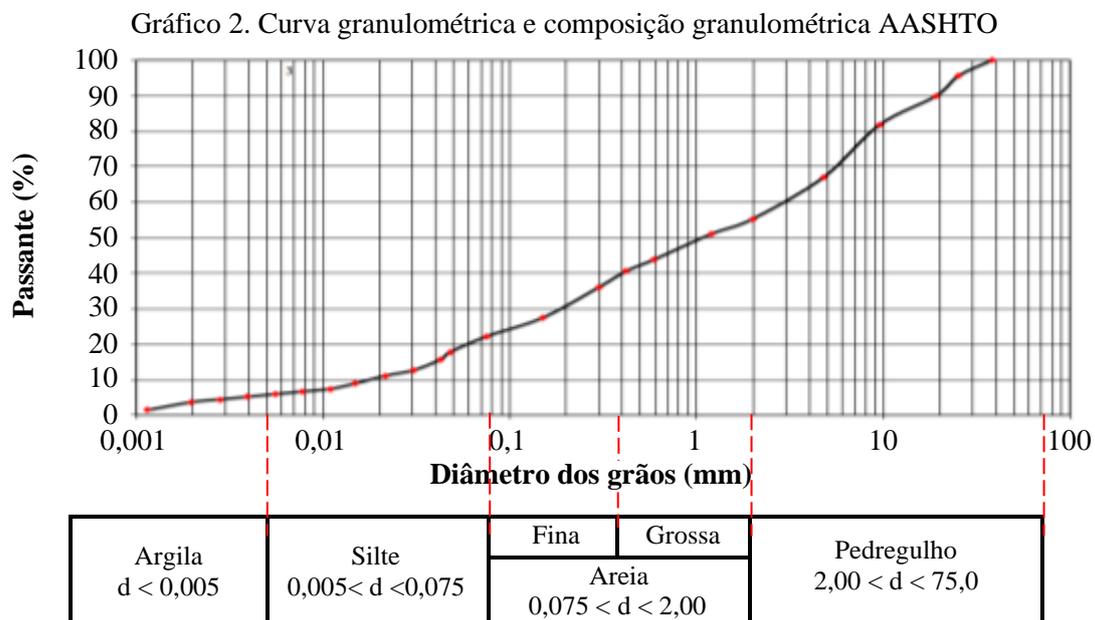
Através da análise tátil-visual, constatou-se que o material em questão se trata de um pedregulho areno-siltoso, apresentando cor marrom escuro nas partículas mais finas e branco em partículas mais grossas (britas). Não se observou plasticidade, pois quando umedecida não foi possível moldá-la e não apresentou resistência coesiva, o que se percebeu ao facilmente quebrar com a mão um torrão seco aparente. Não se pôde determinar sua origem. Logo, sua classificação tátil visual é a seguinte: Pedregulho areno-siltoso, cor marrom escuro e branco, não plástico.

No ensaio de LL, após obtidos os pontos, foi construído um gráfico (Gráfico 1) que traz os números de golpes no eixo das abcissas, em escala logarítmica, e no eixo das ordenadas traz os teores de umidade, em escala aritmética, conforme prescreve a sua norma técnica. A partir dos pontos, ajustou-se uma reta. O LL obtido foi de 32,5%, o que significa que, para qualquer teor de umidade acima deste, o solo passa à consistência líquida, se comportando como um líquido viscoso.

Na execução do ensaio de determinação do LP, não foi possível moldar o cilindro de solo, pois o solo desagregava, não apresentava coesão necessária, indicando baixo ou inexistente teor de argila. Sendo assim o solo é considerado como “não apresentando limite de plasticidade (NP)”, segundo a DNER-ME 082/94. Este ensaio corroborou com as observações feitas na identificação tátil-visual, a respeito da inexistência de plasticidade. Como não foi possível determinar o LL ou LP, o índice de plasticidade deste solo é descrito como NP (não plástico).



Para o ensaio de análise granulométrica, foi construída a curva granulométrica (Gráfico 2) e, a partir dela, determinadas as dimensões das partículas que compõem o solo.

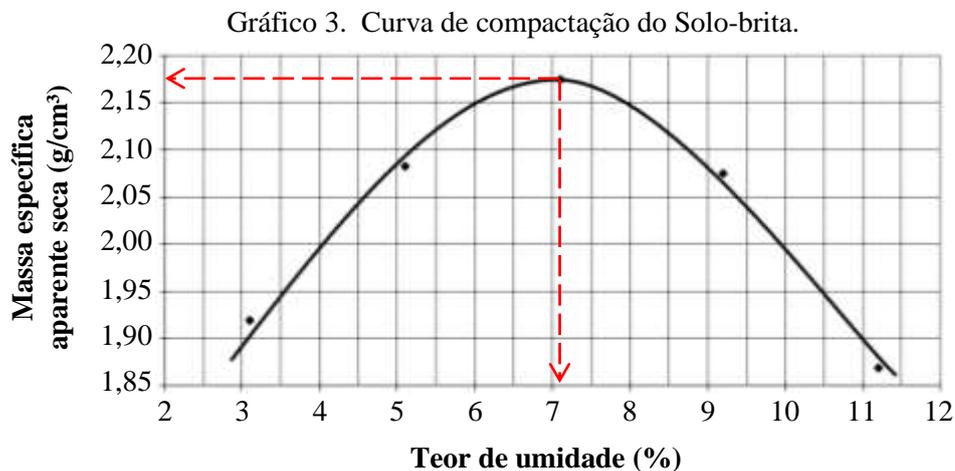


De acordo com a curva, o solo apresenta a seguinte composição se classificado de acordo com a classificação da AASHTO (Associação Norte-Americana de especialistas rodoviários e de transporte): 45% pedregulho, 33% areia, 16% silte e 6% argila. Estas informações também justificam e concordam com o resultado do ensaio de LP, ao mostrar que o solo possui teor desprezível de argila. Com os dados da granulometria, foi calculado o Coeficiente de Não Uniformidade (CNU), cujo valor foi de 167, que o caracteriza como um solo não-uniforme.

Ainda na análise granulométrica, calculou-se o Coeficiente de Curvatura (CC), cujo valor foi de 0,84, indicando ser um solo, em geral, mal-graduado. Valores de CC menores que 1 indicam haver uma leve descontinuidade em sua parte central, porém, observando a curva granulométrica, é possível constatar que ela se desenvolve suavemente, havendo partículas numa faixa extensa de tamanhos. Pinto (2006) diz que um solo ser “bem graduado” indica que a existência de grãos com diversos diâmetros confere-lhe, de modo geral, melhor comportamento sob o ponto de vista da engenharia, pois as partículas menores ocupam os vazios das maiores, criando um maior entrosamento entre os grãos, do qual resulta menor compressibilidade e maior resistência.

Com os dados de LL, LP e granulometria, o solo foi classificado como A-1-b, com Índice de Grupo igual a zero. Esse subgrupo (A-1-b) inclui os materiais constituídos principalmente, de areia grossa, com ou sem aglutinante de solo bem graduado e apresentam comportamento excelente a bom para aplicação em estradas (Pinto, 2006).

Finalizados os ensaios para caracterização do solo, foi executado o ensaio de compactação, visando determinar a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima de compactação para a energia Proctor modificado. A curva de compactação foi construída e se observa no gráfico 3. Através dela temos que a massa específica aparente seca máxima possui o valor de 2,18 g/cm³, elevado para um solo, e a umidade ótima tem valor de 7,1%. Como um dos objetivos maiores da compactação é reduzir o índice de vazios, este dado foi calculado e, nestas condições de melhor compactação, o material apresenta índice de vazios igual a 0,26, um valor baixo.



Fonte: Própria

Já que o solo em questão tem em sua maior parte areia e pedregulho, o atrito interpartículas se torna a principal força contrária aos efeitos de compactação, logo sua compactação em campo é mais eficaz com vibração, pois assim as partículas se movimentam uma em relação as outras com o auxílio da água como agente lubrificante, formando um arranjo de partículas mais compacto. Segundo Pinto (2006), o aumento da densidade ou redução do índice de vazios é desejável não por si, mas porque diversas propriedades do solo melhoram com isto, por exemplo, redução de futuros recalques, aumento da rigidez e da resistência do solo, redução da permeabilidade etc.

CONCLUSÃO

O material solo-brita foi classificado como A-1-b (0), tratando-se de um pedregulho arenoso, o que o torna um bom material para utilização em base de estradas. Suas características de plasticidade, granulometria e compactação apontam para isso, contudo vale ressaltar que não basta que um material tenha boas características, é necessário o uso adequado, como todo material da construção civil. Para que ele adquira melhores propriedades de resistência, permeabilidade, compressibilidade é preciso que haja um bom controle de compactação em campo, utilizando as energias de compactação adequadas ao solo e com um bom controle do teor de umidade.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502: Rochas e Solos – Terminologia. 1995.
- Caputo, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 051/94: Solos- análise granulométrica. 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 082/94: Solos- determinação do limite de plasticidade. 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 122/94: Solos- determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. 1994.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Norma DNIT 164/2013-ME: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. 2013.
- Pinto, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.