

## **Estudo comparativo entre misturas solo-rcd e solo-seixo para aplicação na pavimentação da cidade de Manaus**

### **Comparative study between soil-cwd and solo-pebble mixtures for application in paving the city of Manaus**

DOI:10.34117/bjdv8n11-217

Recebimento dos originais: 24/10/2022

Aceitação para publicação: 22/11/2022

#### **Hilderson da Silva Freitas**

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

Endereço: Av. Sete de Setembro, 1975, Centro, Manaus - AM, CEP: 69020-120

E-mail: freitas.s.a@hotmail.com

#### **Isnailson Feitosa Pinheiro**

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

Endereço: Av. Sete de Setembro, 1975, Centro, Manaus - AM, CEP: 69020-120

E-mail: isnailson.fp@gmail.com

#### **Felipe Wilson Leão da Silva**

Especialista em Engenharia de Avaliações e Perícias pela Universidade do Estado do Amazonas

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

Endereço: Av. Sete de Setembro, 1975, Centro, Manaus - AM, CEP: 69020-120

E-mail: felipe\_leao@hotmail.com

#### **Marcos Raiker Printes Ferreira**

Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

Endereço: Av. Sete de Setembro, 1975, Centro, Manaus - AM, CEP: 69020-120

E-mail: marcos.raiker@ifam.edu.br

#### **RESUMO**

A conscientização dos limites de recursos naturais do nosso planeta vem despertando, cada vez mais, a preocupação com a manutenção desses recursos para as gerações futuras. Aprimorar os processos para o uso de materiais alternativos demonstra ser a maneira mais prática de tornar sustentável as obras do futuro. Neste trabalho são analisados solos artificiais produzidos a partir de misturas solo-RCD e solo-seixo para aplicação em sub-base na pavimentação da cidade de Manaus. O desempenho dos solos foi obtido através do ensaio de Índice de Suporte Califórnia, no qual são analisadas a resistência a penetração e a expansão. Os resultados alcançados mostraram uma melhora significativa no índice de suporte dos solos estabilizados quando comparados ao solo natural.

**Palavras-chave:** estabilização granulométrica, RCD, ISC.

## ABSTRACT

The awareness of the limits of our planet's natural resources has increasingly aroused the concern with the maintenance of these resources for future generations. Improving the processes for the use of alternative materials proves to be the most practical way to make the works of the future sustainable. In this work, artificial soils produced from soil-CDW and soil-pebble mixtures for sub-base application in the paving of the city of Manaus are analyzed. Soil performance was obtained through the California Bearing Ratio assay, in which penetration resistance and expansion are analyzed. The results showed a significant improvement in the support index of stabilized soils when compared to natural soil.

**Keywords:** granulometric stabilization, CDW, CBR.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção descontrolada de resíduos provenientes de construção e demolição (RCD) é certamente um dos problemas ambientais mais graves enfrentados nos últimos anos. Dada a importância da construção civil para a qualidade de vida das pessoas, a falta de controle e de métodos mais enxutos de produção têm contribuído para o aumento na geração de RCD (AMORIM, 2013).

O problema ambiental do RCD está principalmente nos prejuízos enormes causados para as cidades, pois a deposição clandestina e irregular desses materiais contribui para a obstrução dos seus sistemas de drenagem, impedindo o escoamento da água, causando enchentes e fornecendo condições favoráveis a proliferação de transmissores de doenças, trazendo riscos à saúde da população. (ARAÚJO, 2018).

Os resíduos da construção e demolição (RCD) vem ganhando valor do ponto de vista da engenharia, pois apresentam através de ensaios laboratoriais boa resistência a abrasão e baixa expansão, podendo ser britados nas dimensões desejadas, tais características mostram o seu grande potencial de reciclagem como agregado para pavimentação. (LIEBI, 2007).

O potencial de utilização dos RCDs tem-se evidenciado devido a capacidade e a viabilidade com que diversos tipos de resíduos gerados pela área de construção civil têm sido aproveitados em vários países, como : Austrália, Brasil , Estados Unidos, França, Holanda, nos mais diversos serviços de construção como : fabricação de blocos de concreto sem fins estruturais, blocos intertravados para calçadas, materiais constituintes de camadas de base, sub-base e reforço de subleito, dentre outras soluções (AMORIM, 2015).

TRICHÊS & KRYCKYJ (2000) apontam que os agregados reciclados provenientes de RCD tendem a apresentar propriedades geotécnicas compatíveis para utilização em obras de pavimentação. Destacam ainda que, do ponto de vista geotécnico, os agregados reciclados são considerados materiais não plásticos, o que permitem a sua utilização em locais com alto índice pluviométrico, por gerar pouca ou nenhuma lama. Essa propriedade torna esses agregados materiais que podem ser utilizados como agentes redutores de plasticidade na estabilização de alguns solos e tendem a produzir pouca ou nenhuma expansão, mesmo no estado saturado, quando aplicados em camadas de pavimentos compactados.

A reciclagem de RCD é, portanto, necessária, pois possibilita a redução da extração de novas matérias-primas, a conservação dos recursos naturais de agregados e também a redução das emissões de gases de efeito estufa. Outra vantagem é que os custos de produção do agregado reciclado podem ser compensados pela economia nos custos de transporte e aterro. Portanto, de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável, a substituição de agregados naturais em uma mistura solo-seixo para uma base ou sub-base de pavimento por agregados reciclados, pode reduzir não só o uso de recursos naturais, mas também o custo de construção. (TAVARES, 2018).

## **2 PEDOLOGIA DOS SOLOS BRASILEIROS**

Na perspectiva da engenharia o solo pode ser definido como o material inconsolidado, ou seja, constituído por grãos separáveis por meio de processos mecânicos e hidráulicos suaves e que pode ser escavado com equipamentos de terraplanagem. Os critérios adotados para a classificação dos solos são muitos, que vão desde a avaliação dos aspectos morfológicos, físicos, químicos, vegetação, material originário e condições hídricas. As características externas ao solo, relação entre o solo e a paisagem, são também utilizadas (NOGAMI E VILLIBOR, 1983).

Um dos critérios mais importantes na classificação dos solos brasileiros diz respeito à origem do material, mais especificamente ao processo de formação do solo, que compreende uma complexa série de processos geológicos e/ou pedológicos. Estes solos de evolução pedogênica são denominados solos tropicais, podendo ser lateríticos, saprolíticos e transportados (VARGAS, 1978).

Para solos porosos cuja formação se deve a uma evolução pedogênica em clima tropical de alternâncias secas e extremamente úmidas resultam em solos lateríticos. Estes

solos são os mais recorrentes no Brasil ocupando cerca de 39% da área do país (VARGAS, 1978). Já os solos saprolíticos são caracterizados principalmente pela semelhança que apresentam com a rocha que lhes deu origem, por isso são considerados solos pouco evoluídos.

## 2.1 SOLOS LATERÍTICOS

Os solos lateríticos, em latim “Later” significa tijolo e “Ito” significa material pétreo, são uma variedade de solo do horizonte superficial laterítico, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, formados a partir do processo intenso de intemperização em solos residuais (ZORZI, 2008).

Segundo Nogami e Villibor (1983) os solos lateríticos apresentam uma mineralogia relativamente simples, o quartzo na maioria das vezes é o mineral predominante nas frações de areia e pedregulho deste tipo de solo. A presença de quartzo imprime ao solo propriedades decorrentes de suas peculiaridades, são elas:

- Resistência a compressão e dureza a elevadas;
- Elevado módulo de elasticidade
- Massa específica absoluta na ordem de  $2,65 \text{ g/cm}^3$

Segundo Nogami e Villibor (1983) uma característica que se destaca nos solos lateríticos é a presença de minerais pesados, dentre eles a laterita, ou concreção laterítica é a que ocorre com mais frequência nos solos superficiais lateríticos, é constituída essencialmente de óxidos hidratados de ferro e de alumínio. A laterita traz consigo uma série de peculiaridades ao solo, dos quais se destacam:

- Massa específica real consideravelmente maior que a do quartzo (cerca de  $3,0$  a  $5,0 \text{ g/cm}^3$ );
- Resistência mecânica consideravelmente menor que o quartzo, podendo, muitas vezes ser fragmentada com facilidade;
- Absorção d’água da ordem de alguns por cento.

## 2.1 SOLOS EM OBRAS RODOVIÁRIAS

Segundo a NBR-7207/82 O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem, que tem como principal objetivo resistir, reduzir e distribuir para a infraestrutura, ou subleito, os esforços horizontais e verticais provenientes do tráfego tornando mais durável a superfície de rolamento.

Uma seção transversal comum de pavimento deve ser constituída de uma fundação (ou subleito) e de camadas com espessuras e materiais determinados por um dos inúmeros métodos de dimensionamento. De acordo com Senço (2007), as camadas que formam este pavimento são:

- Revestimento ou capa de rolamento;
- Base;
- Sub-base;
- Reforço do subleito;
- Regularização;
- Subleito;

Alguns critérios são utilizados para avaliar as propriedades do subleito e garantir sua adequação ao projeto em questão. (SENÇO, 2007; TEIXEIRA, 2014). Os mais conhecidos e amplamente utilizados são através dos seguintes testes de solo em laboratório:

- Caracterização física e classificação segundo HRB/TRB, SUCS;
- Curva de Compactação;
- Índice de Suporte Califórnia (ISC);

De modo geral, de acordo com as normas DNIT 301 (2009), o solo é considerado adequado para aplicações como fundação em pavimentos rodoviários, se possuir as seguintes características:

- Quando utilizado como sub-base deve apresentar uma expansão, medida no ensaio de ISC, menor ou igual a 2 % e um ISC maior ou igual a 20 %.

### 2.3 ESTABILIZAÇÃO DOS SOLOS

A estabilização do solo é uma prática antiga, desenvolvida inicialmente de forma rudimentar e refinada ao longo do tempo. Para melhor aproveitamento econômico e desenvolvimento da obra, o ideal seria utilizar o solo já existente no local de execução da obra. No entanto, muitas vezes os solos presentes in loco não atendem às especificações mínimas exigidas para uso, neste caso deve-se emprestar um solo com melhores propriedades ou tratar o solo residual presente.

Portanto, houve a necessidade de criar métodos para tornar o solo mais adequado para sua aplicação, ou seja, para estabilizar esse material. Para Senço (2001), estabilizar

um solo significa conferir a ele condições para resistir a deformações e ruptura maximizando a adequação deste para um determinado uso.

Ainda segundo o autor, a principal característica que os solos estabilizados devem apresentar é a resistência ao cisalhamento e à deformação, para que suportem tensões sem romper. Existem três métodos mais utilizados para a estabilização: mecânico, granulométrico e o químico.

A estabilização mecânica é considerada o método mais utilizado e mais antigo na pavimentação, trata-se de uma melhoria proveniente da diminuição dos vazios existentes no solo, inibindo desta forma a percolação da água e a erosão provocada por ela, aumentando a densidade, a durabilidade, a compactidade, e a resistência mecânica do solo. Pode ser realizada por compactação ou por correção da granulometria, que é a adição ou retirada de partículas do solo (MEDINA, 2005)

Por outro lado, a estabilização granulométrica diz respeito a combinação de dois ou mais tipos de solos, em proporções adequadas para obtenção de um material homogeneizado, bem graduado, com porcentagem limitada de partículas finas e posterior compactação. O objetivo deste processo é proporcionar estabilidade do solo e aumento da resistência mecânica através do contato entre os grãos de partículas maiores e pelo preenchimento de vazios com grãos de partículas mais finas. (VILLIBOR, 1982).

A estabilização química é outra técnica visa a melhoria das propriedades físicas e mecânicas do solo. o processo consiste na adição de um agente estabilizante ao solo, fazendo com que este atinja uma umidade ótima adequada, uma compactação eficiente e uma cura final que assegure a obtenção de uma resistência potencial satisfatória. Os aditivos para estabilização química incluem: cimento, cal.

### **3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS SOLOS.**

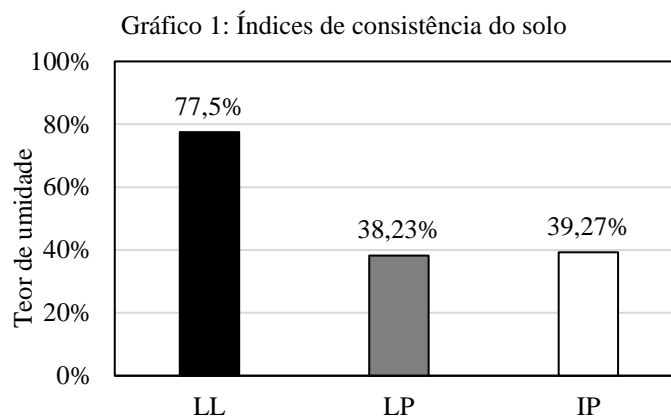
Sob a perspectiva da engenharia, a distribuição granulométrica sozinha não caracteriza bem o desempenho dos solos para a aplicação na pavimentação. Pois quanto menor a dimensão das partículas, maior a superfície específica, portanto a fração fina do solo tem uma grande importância no seu comportamento na condição úmida.

Por outro lado, as partículas de minerais argilas diferem acentuadamente pela estrutura mineralógica, bem como pelos cátions adsorvidos. Desta forma, para a mesma porcentagem de fração argila, o solo pode ter comportamento muito diferente, dependendo das características dos minerais presentes (PINTO, 2006).

Segundo Pinto (2006) 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 ele vai se tornando quebradiço.

O número que melhor define a consistência de um solo é o Índice de plasticidade. O seu cálculo leva em conta os resultados obtidos nos ensaios limites de Atterberg. A argila é mais compressível quanto maior for o IP (CAPUTO, 2006). Sendo Índice de Plasticidade – IP, calculado pela Equação 1.

$$IP = LL - LP (1)$$



Segundo Jenkins (Caputo, 1987), para solos argilosos, um Índice de Plasticidade maior de que 15% classifica o solo como altamente plástico, que na prática significa que o solo mantém sua consistência plástica mesmo com uma adição percentual elevada de água. A partir dos resultados dos ensaios de granulometria e sedimentação foi obtido o Gráfico 2, que retrata a distribuição dos grãos do solo e permite classificá-lo quanto dimensão das partículas segundo a norma ABNT – NBR 6502.

O solo laterítico estudado apresentou todas as características comuns aos solos argilosos como pode ser observado na Tabela 1. O alto teor de argila presente no solo é responsável pelos valores elevados de plasticidade e índice de grupo, tais propriedades são devidas à sua parte constituída pelos grãos minerais de diâmetro inferior a 0,005mm (CAPUTO, 2006). Essas características qualificam o solo para o presente estudo pois trata-se de um solo que necessita de um processo de estabilização para ser empregado em base de pavimentos rodoviários.

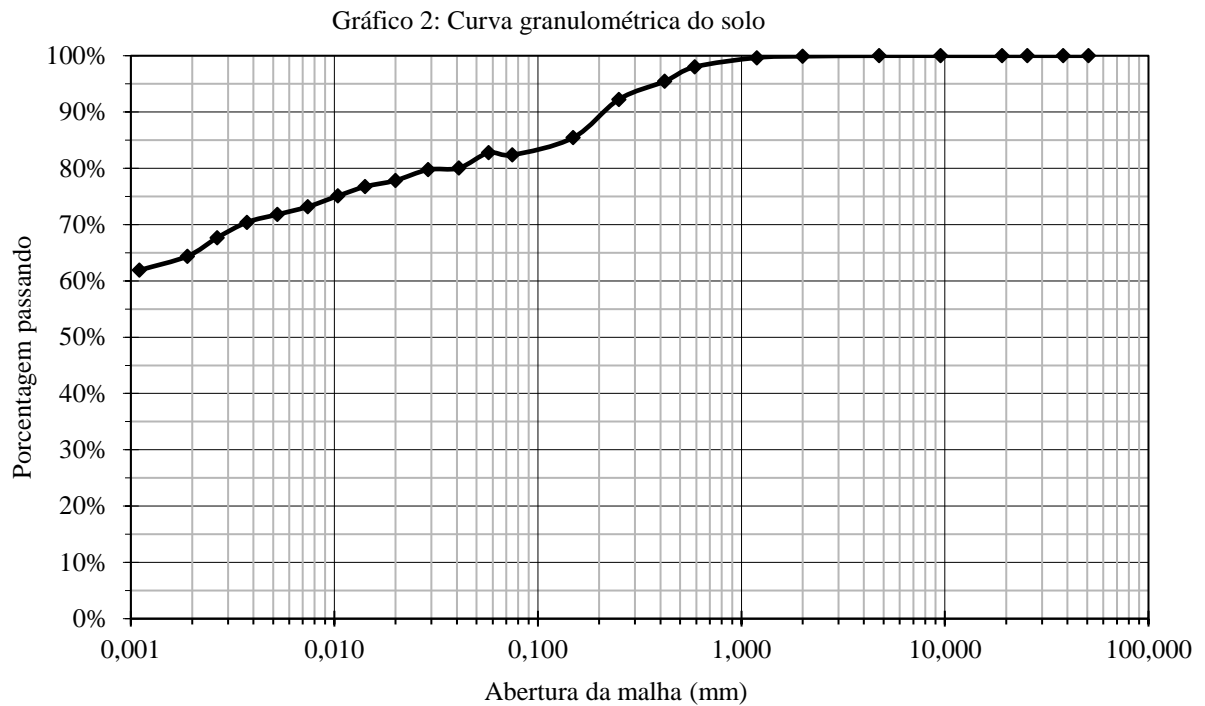


Tabela 1: Características físicas do solo laterítico.

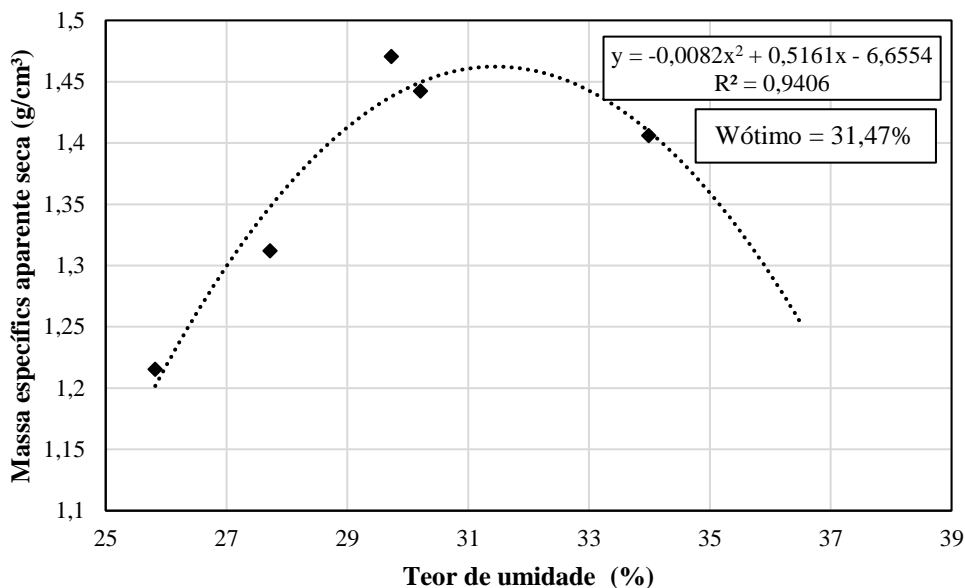
Parâmetros do Solo	Valores
Umidade Natural (%)	27,1
Umidade Higroscópica (%)	3,68
Densidade Real (g/cm <sup>3</sup> )	2,79
Limite de Liquidez (%)	77,5
Limite de Plasticidade (%)	38,23
Índice de Plasticidade (%)	39,27
Índice de Grupo	20
Percentual de Argila (%)	64,83
Percentual de Silte (%)	16,52
Percentual de Areia (%)	18,77

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO SOLO NA CONDIÇÃO NATURAL

O ensaio de compactação foi realizado conforme as instruções da norma ABNT NBR 7182:2016 utilizando apenas a energia normal de compactação. Com os resultados obtidos, montou-se a curva de compactação descrita por meio do Gráfico 3, do qual também pode ser extraído o teor de umidade ótimo do solo natural.



Gráfico 3: Curva de Compactação do solo natural



### 3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS

Os agregados graúdos utilizados neste estudo foram caracterizados fisicamente seguindo as normas DNER-ME 083/98 e DNER-ME195/97 para a determinação da granulometria, massa específica e absorção respectivamente. Com os resultados obtidos foram plotados os Gráfico 4 e 5 com a distribuição granulométrica do seixo rolado e RCD, e a tabela 2 com os valores de massa específica e absorção dos agregados.

O Gráfico 6 mostra o comparativo entre as curvas granulométricas dos dois agregados utilizados, no qual é possível observar a semelhança de continuidade das curvas, havendo apenas um deslocamento referente às dimensões máximas dos agregados.

Tabela 2: Propriedades físicas dos agregados

Agregados	Massa específica (g/cm³)	Absorção (%)
Seixo Rolado	2,6	0,5
RCD	2,5	10,6

Gráfico 4: Curva granulométrica do seixo rolado

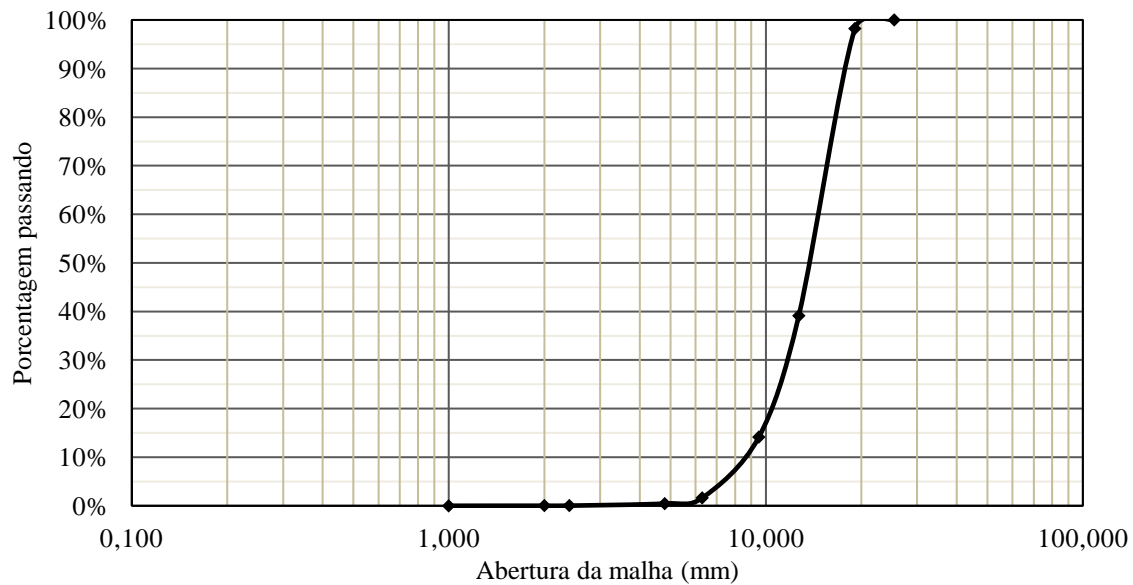


Gráfico 5: Curva granulométrica do RCD

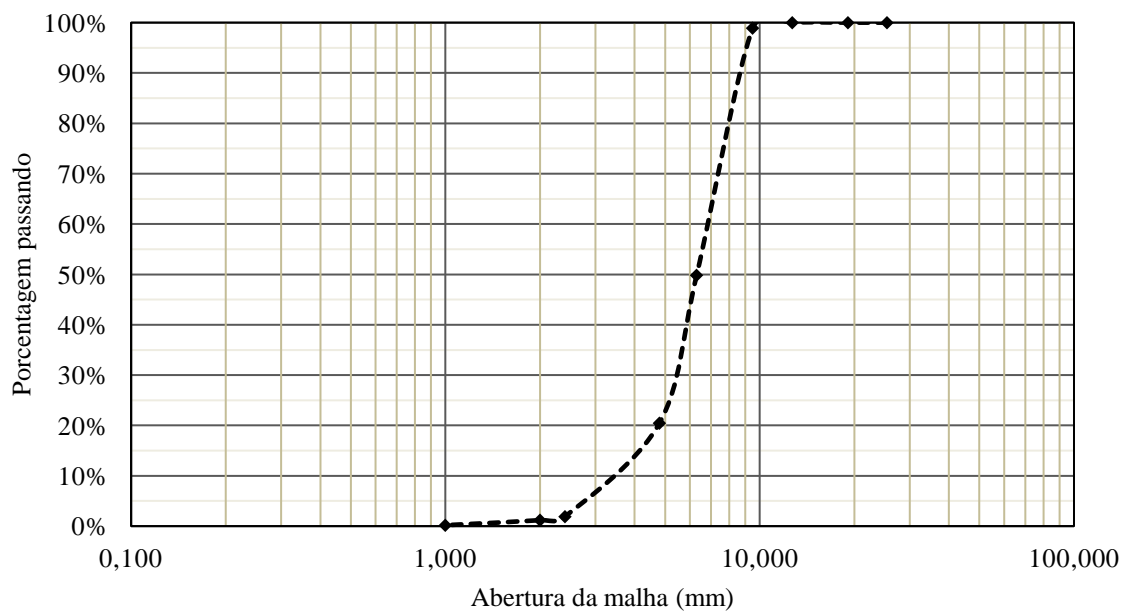
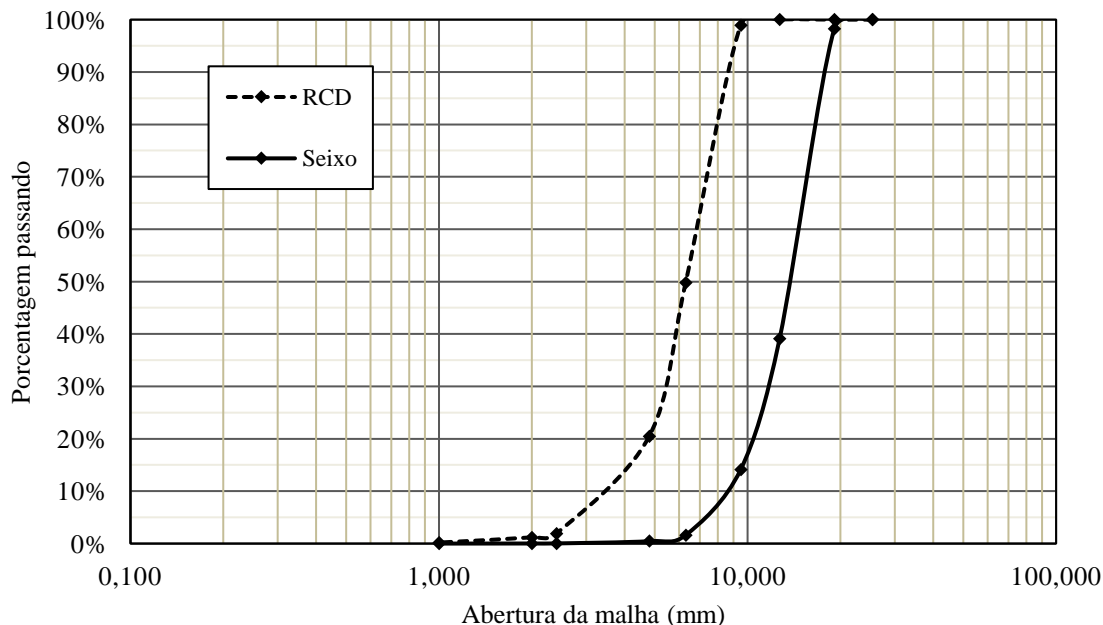


Gráfico 6: Curva granulométrica do RCD e Seixo.



### 3.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS MISTURAS

As amostras foram caracterizadas mecanicamente por meio do ensaio de compactação, pelo qual são obtidas as curvas de compactação (Gráficos 7 e 8). O vértice da curva de compactação corresponde à umidade ótima do solo ou mistura estudada, percebeu-se uma diminuição da umidade ótima em 21,7% e 14,2% nas misturas utilizado 20% de Seixo e RCD respectivamente em relação ao solo natural.

Gráfico 7: Curva de Compactação da mistura Solo-seixo

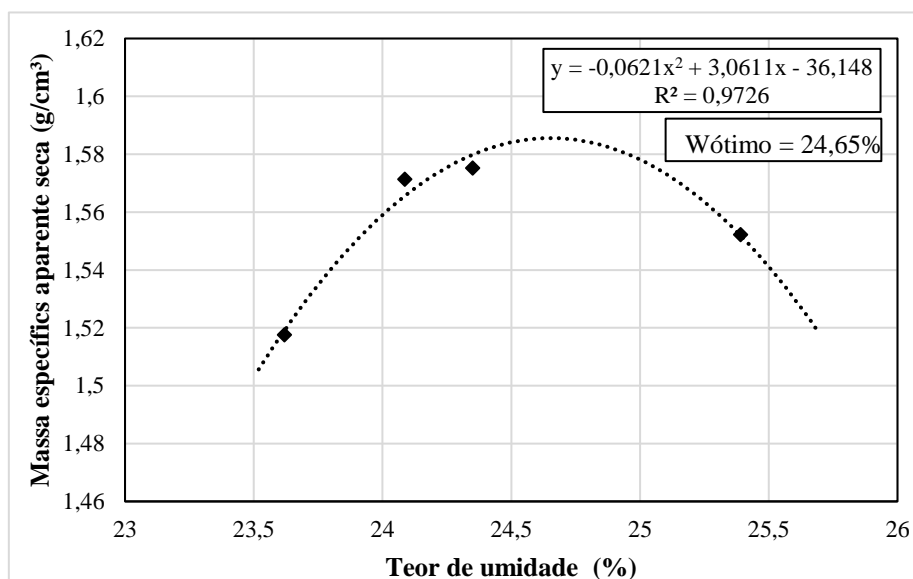
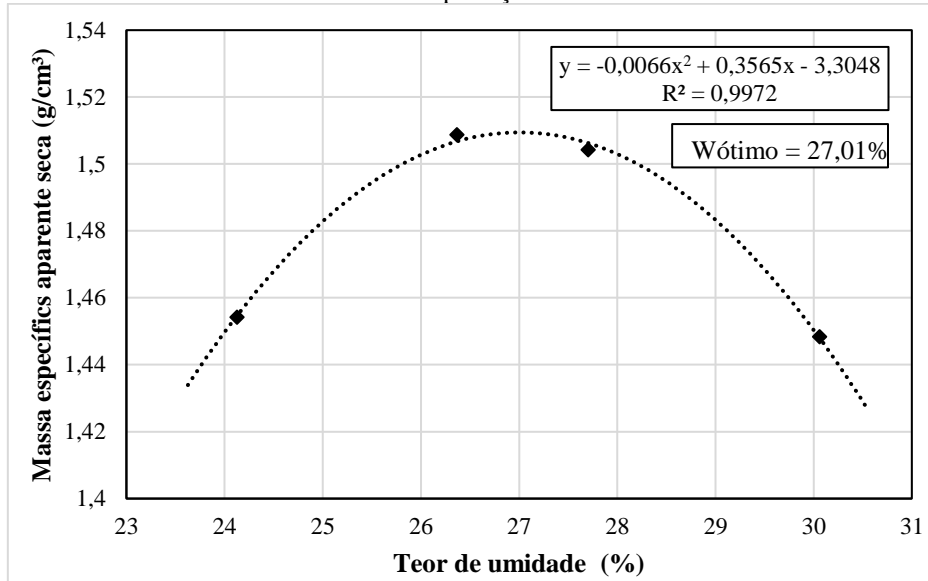


Gráfico 8: Curva de Compactação da mistura Solo-RCD



Basicamente para obter o valor de ISC embasa-se na combinação de ensaios de expansão e compactação que, através dos resultados obtidos, são comparados aos valores de um solo padrão da Califórnia, dito como ótimo (ISC igual a 100 %). O valor de ISC para um determinado solo será dado através da relação, em termos de porcentagem, da pressão calculada através de ensaios, e da pressão padrão.

Figura 1: (a) Corpo de prova após ensaio de penetração; (b) Ensaio de expansão.

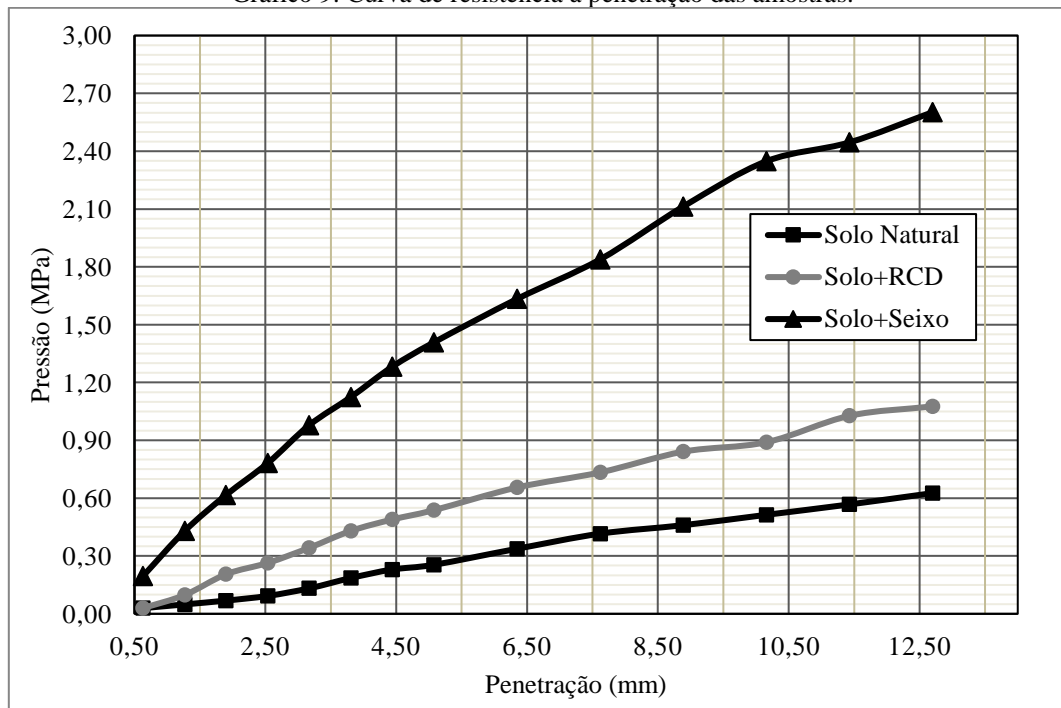


(a)



(b)

Gráfico 9: Curva de resistência à penetração das amostras.



Foi observado o aumento em 111% do índice de suporte do solo com adição de RCD em comparação ao solo natural. Já para a o solo com adição de seixo o aumento foi de 450% em relação ao solo natural. A melhoria na resistência já era esperada conforme a estabilização granulométrica realizada, contudo, tanto o solo estabilizado com RCD quanto o com Seixo não atingiram valores satisfatórios para aplicação em sub-base de pavimentos rodoviários conforme a norma DNIT 301 (2009).

Gráfico 10: Índices de Suporte Califórnia das amostras.

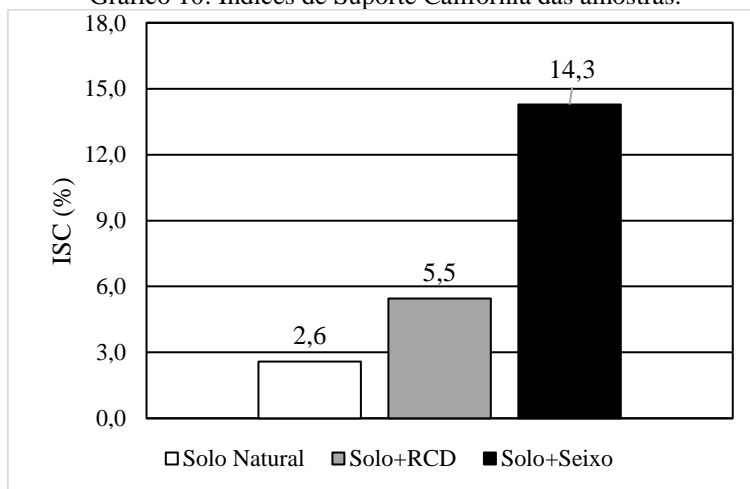
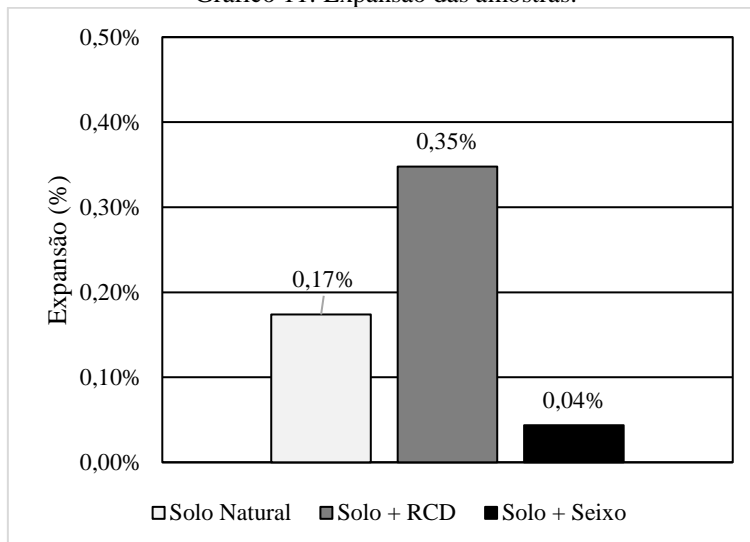


Gráfico 11: Expansão das amostras.



#### 4 CONCLUSÃO

O solo estudado apresentou todas as peculiaridades características dos solos lateríticos, tais como elevado teor de argila e presença de concreções lateríticas ainda em formação, que contribuem respectivamente para o valor elevado de plasticidade e massa específica do solo.

As misturas foram trabalhadas com adição de 20% de agregado em relação ao solo úmido, esta proporção facilitou a moldagem dos corpos de prova para os ensaios de compactação e ISC, contudo não foi alcançado o aumento esperado na resistência a penetração para aplicação em sub-base de pavimentos rodoviários.

Por fim, o presente estudo conclui que a adição de 20% de RCD, em massa, ao solo natural contribuiu para o aumento na capacidade suporte via ISC.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, E. F. **Viabilidade técnica econômica de misturas de solo-RCD em camadas de base de pavimentos urbanos**. Estudo de caso: Município de Campo Verde – MT. Tese de doutorado. Brasília, 2013.

AMORIM, E. F. **Avaliação da resistência à penetração em misturas de solo-RCD empregadas em obras viárias a partir do penetrômetro dinâmico (panda)**. 18º ENACOR - Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Foz do Iguaçu-PR, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6457: **Amostra de Solo: Preparação para Ensaio de Caracterização e Compactação**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6458: **Grãos do solo que passam na # de 4,8mm – Determinação da Massa Específica**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6459: **Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7180: **Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7181: **Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 9895 – **Índice de Suporte Califórnia**. Rio de Janeiro.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1987. 219p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 083/98: **Agregados – análise granulométrica**. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 195/97: **Agregados – determinação da absorção e da massa específica do agregado gráudo**. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ES 301/09: **Pavimentos flexíveis – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro.

LIEBI, B.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**, Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos Pavimentos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2005. hed by Kendall/Hunt Publishing Company.

NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. (1995). **Pavimento de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo / SP, 240p

PINTO, Carlos Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**, 3. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.

TAVARES, P. L. M. **Utilização de agregados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários**. 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Gramado-RS, 2018.

TRICHÊS, G. ; PAULO ROBERTO KRYCKYJ, . **Caracterização Mecânica do Entulho da Construção Civil com vistas ao seu Emprego na Pavimentação Urbana..** In: 10a Reunião de Pavimentação Urbana, 2000, Uberlândia. 10 Reunião de Pavimentação Urbana. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2000. v. 1. p. 120-131.

VARGAS, M. 1978, **Introdução à Mecânica dos Solos**. Editora McGRAW-HILL do Brasil LTDA.

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

ZORZI, Clayton. **Caracterização dos Solos Tropicais Lateríticos para reforço de Pavimentos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade São Francisco. São Paulo, 2008