

## ANÁLISE DA MISTURA DO AGREGADO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RDC) ASSOCIADO AO SOLO LATERÍTICO PARA APLICAÇÃO EM SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Caio César Luz Araújo (\*), Natássia da Silva Sales

\* Centro Universitário de Saúde, Ciências Humanas e Tecnológicas do Piauí – UNINOVAFAPI (*caioccla@hotmail.com*)

### RESUMO

Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) são gerados em grandes quantidades e nem sempre o seu descarte é feito de maneira sustentável. Quando esses resíduos são descartados de maneira clandestina, além de prejudicar o meio ambiente e ocasionar uma poluição visual, ele ainda proporciona uma série de doenças para a população. Experiências realizadas no Brasil e no mundo tem demonstrado que o agregado reciclado de RCD é uma alternativa interessante para utilização nas camadas de pavimentos. Neste contexto, a presente pesquisa propõe uma solução para a destinação correta do RCD, que é a sua utilização na camada de sub-base de pavimento, a partir da mistura do agregado reciclado de RCD com o solo convencional. Neste sentido, foram realizados ensaios laboratoriais, afim de se obter o desempenho e as principais propriedades dessa associação. Os experimentos foram realizados em três proporções da mistura Solo – RCD, e para comparação, foram realizados os ensaios em uma amostra com 100% do solo laterítico. As proporções de RCD foram de 20%, 30% e 40%. Foram escolhidas essas proporções porque a maioria das pesquisas analisadas utilizavam volumes muito alto de RCD, e os resultados não eram satisfatórios frente aos desejáveis para essa pesquisa. Os resultados obtidos mostraram que a mistura Solo-RCD é de uso promissor na pavimentação, pois mesmo reduzindo a resistência do solo, suas propriedades físicas e mecânicas ainda ficaram aceitáveis, de acordo com as normas impostas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo, Reciclagem, Pavimentação.

### ABSTRACT

Construction and demolition residues (CDR) are generated in large quantities and are not always discarded in sustainable ways. When these residues are disposed of clandestinely, besides harming the environment and causing a visual pollution, it still provides a series of diseases for the population. Experiments carried out in Brazil and all over the world have demonstrated that the recycled CDR aggregate is an interesting alternative for the use in pavement layers. In this context, the present research proposes a solution for the correct destination of CDR, which is its application in the sub-base layer of pavement, from the mixture of recycled CDR aggregate with conventional soil. In this sense, laboratory tests were performed in order to obtain the performance and the main properties of this association. The experiments were performed in three proportions of the Soil – CDR mixture, and for comparison, the tests were performed in a sample with 100% of lateritic soil. The proportions of CDR were 20%, 30% and 40%. These proportions were chosen because most of the researches analyzed used very high volumes of CDR, and the results were not satisfactory compared to the desirable ones for this research. The results showed that the Soil – CDR mixture is of promising use in paving, because even reducing soil resistance, its physical and mechanical properties were still acceptable, according to the norms imposed.

**KEY WORDS:** Residues, Recycling, Paving.

### INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado e desenfreado da construção civil, houve um aumento nos problemas ambientais, seja pela geração de resíduos, pelo consumo dos recursos naturais, ou pela alteração da paisagem. Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) são um problema que deve ser tratado urgentemente pelas autoridades, pois segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2015) os entulhos gerados nas construções representam cerca de 40% a 70% de todos os resíduos sólidos das cidades brasileiras, e geralmente esses resíduos são depositados em aterros clandestinos, a margem de rios ou em terrenos baldios (CRISTO et al., 2014).

Os impactos negativos causados por esses entulhos são devastadores, causando prejuízos enormes para cidades, pois a deposição clandestina e irregular desses materiais poderá obstruir os seus sistemas de drenagem, impedindo a percolação da água, causando enchentes e oferecendo condições favoráveis a proliferação de transmissores de doenças, levando riscos à saúde da população e gastos desnecessários ao poder público (CARDOSO et al., 2014).

Uma forma de minimizar esse problema é a utilização do agregado reciclado desses resíduos na camada de sub-base de pavimentos, devido a simplicidade do processo de reciclagem do RCD e de sua execução no pavimento, além da possibilidade de uso dos mais diversos materiais presentes no entulho, precisando somente de uma separação para eliminar os materiais indesejáveis: gesso, madeira, plásticos, entre outros (ABDOU e BERNUCC, 2007).

Com isso, a problematização dessa pesquisa é verificar corpos de prova utilizando diferentes proporções da mistura Solo-RCD, afim de obter o seu desempenho e suas propriedades físicas e mecânicas, e, após analisar os resultados, verificar qual a proporção mais adequada para ser utilizada, dentre as porcentagens estudadas.

Tendo em vista que o agregado reciclado de RCD é um material com valor inferior aos agregados convencionais, que através da utilização desse entulho, estaríamos prolongando a vida dos resíduos, evitando o desperdício e contribuindo para a diminuição da escassez dos recursos naturais, já que precisaríamos de um volume menor de solo laterítico, e levando em conta que o comportamento e as características dos agregados de RCD, possivelmente, são tão boas quanto as dos agregados convencionais, dessa forma, a sub-base de pavimentos pode ser constituída da mistura solo-RCD, sem comprometer a estrutura do pavimento.

A partir desse cenário, esta pesquisa visa obter resultados sobre o desempenho e as principais características estruturais de corpos de prova contendo a mistura de solo laterítico e agregado reciclado de RCD do tipo classe A (CONAMA N° 307, 2002), que são os componentes cerâmicos, argamassas, cimento e solos provenientes de reparos na pavimentação, verificando a viabilidade para sua utilização nas camadas de sub-base, oferecendo uma alternativa para que as grandes empresas possam dar um destino final aos seus resíduos, diminuindo o desperdício de materiais e contribuindo para o melhoramento da economia da empresa que irá aderir a esse programa, além de minimizar os impactos que esses resíduos iriam causar ao meio ambiente.

## OBJETIVOS

Essa pesquisa tem como objetivo geral analisar o desempenho e as principais características de amostras utilizando diferentes proporções da mistura solo-RCD, oferecendo uma alternativa para sua utilização na camada de sub-base de pavimentos.

Como objetivos específicos:

- Caracterizar os corpos de prova quanto a granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação e Índice de suporte Califórnia (ISC), através das normas específicas vigentes.
- Analisar os resultados obtidos e verificar quais proporções estão com os resultados de acordo com os requisitos que o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) determina.
- Definir a porcentagem mais adequada da mistura solo-RCD para a utilização na camada de base de pavimentos.

## METODOLOGIA

### ➤ Tipo de estudo

Trata-se de um estudo para a determinação do comportamento mecânico e das principais características de amostras contendo diferentes proporções da mistura de resíduos da construção e demolição associados ao solo laterítico, comparando-as com uma amostra contendo 100% desse mesmo solo, buscando a proporção mais adequada da mistura, e assim analisar a viabilidade de sua utilização na camada de sub-base de pavimento.

Pode-se concluir que esta pesquisa se enquadra na área de análise de intervenção, pois analisará o desempenho e as principais características de amostras contendo misturas solo-RCD, sendo norteadas por indicadores quantitativos, pois será empregada a estatística e a matemática como principais recursos para análise das informações (CANDIOTTO *et al*, 2011).

### ➤ Local e período de realização dos ensaios

A pesquisa foi realizada no período de agosto a outubro de 2017 no laboratório de solos do Centro Universitário UNINOVAFAP, localizado na cidade de Teresina (PI).

### ➤ Amostra

Para a realização do estudo foi utilizado RCD do tipo classe A, de acordo com os critérios da NBR 15113. Esse resíduo foi disponibilizado pela Construtora Artes e foi triturado por meio de máquina trituradora, disponibilizado pela

Construtora Sucesso SA. O solo laterítico foi coletado na cidade de Picos-PI. O agregado reciclado de RCD foi misturado com o solo manualmente.

## ➤ Coleta de dados

Para avaliar o comportamento mecânico, foram executadas três variações da mistura solo-RCD e para comparação, foi executada uma contendo 100% de solo laterítico:

- Na primeira amostra foi utilizado na sua composição 80% de solo laterítico e 20% de RCD.
- Na segunda foi utilizado 70% de solo laterítico e 30% RCD.
- Com relação a terceira amostra, foi utilizado 60% de solo laterítico e 40% de RCD.
- Completando as amostras, foi executado corpos de provas utilizando 100% de solo laterítico na sua composição.

De acordo com o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), para o solo ser utilizado na camada de sub-base, o mesmo deve passar por ensaios para a determinação da granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação, Índice de Suporte Califórnia e o cálculo do índice de grupo.

## ➤ Análise de dados

A análise de dados foi feita por meio de tabelas e figuras, onde foram registrados os resultados de cada ensaio.

Após registrar os resultados, foram verificadas quais as proporções da mistura solo-RCD que estavam dentro das normas específicas do Manual de Pavimentação do DNIT (2006), que determina as características de um solo para ser utilizado como sub-base estabilizada, o mesmo deverá apresentar limite de liquidez máximo de 25%, índice de plasticidade máximo de 6%, apresentar o Índice de Suporte Califórnia deverá ser maior ou igual a 20%, expansão máxima deverá ser 0,5% e a granulometria deverá estar enquadrada em uma das faixas impostas pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006). Ainda segundo o Manual de pavimentação do DNIT (2006), para um solo ser utilizado na camada de sub-base, o material precisa ter índice do Grupo IG = 0 para qualquer tipo de tráfego.

As proporções que estiveram com os resultados dentro desses padrões, foram comparadas com os resultados da amostra contendo 100% de solo laterítico, verificando, também, se essa amostra estava dentro dos requisitos que o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) explicita. Essa comparação foi feita para determinar se as proporções da mistura solo-RCD têm melhores ou piores características, quando confrontadas com as do agregado convencional (solo laterítico). A porcentagem solo-RCD mais adequada para ser utilizada na sub-base de pavimento, foi a que atendeu todas as especificações que o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) determina, como mais de uma proporção atendeu aos requisitos impostos, a escolhida foi a de melhor Índice de Suporte Califórnia.

## RESULTADOS

### ➤ Agregado Reciclado de RCD: Trituração e Caracterização

Em posse do RCD, o mesmo foi levado para uma máquina trituradora, que foi disponibilizada pela Construtora Sucesso SA, onde obteve-se o agregado reciclado. O material foi recolhido do local e levado para o laboratório do Centro Universitário Uninovafapi, onde foi realizado o ensaio de granulometria para a caracterização do solo. Foi realizado o ensaio de granulometria, de acordo com a NBR NM 248/2003 e os resultados obtidos foram que o material possui uma granulometria uniforme, apresentando dimensão máxima característica de 6,3 mm (1/4"), que é determinada pela peneira que possui porcentagem retida acumulado igual ou inferior a 5%, apresentando, também, uma curva granulométrica bastante íngreme.

### ➤ Obtenção e caracterização geral do Solo Laterítico

A coleta do material foi realizada na cidade de Picos/PI e levado para o laboratório do Centro Universitário Uninovafapi, onde foi realizado o ensaio de granulometria de acordo com a NBR NM 248/2003. Com os resultados obtidos, chegou-se à conclusão de que o solo possui poucos vazios, pois as partículas menores ocupam os vazios deixados pelas maiores criando um bom entrosamento, resultando em melhores condições de compactação e de resistência.

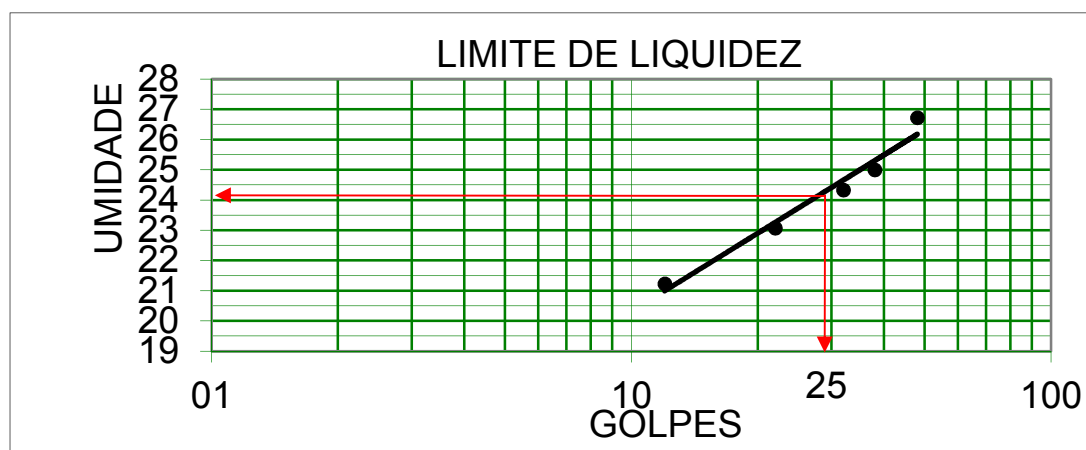
### ➤ Limite de Liquidez / Limite de Plasticidade

O ensaio para determinação do Limite de Liquidez foi realizado de acordo com a NBR 6459/2016 e os resultados foram registrados por meio da Tabela 1.

**Tabela 1. Peso das amostras do ensaio de Casa Grande. Fonte: Autor do Trabalho.**

| Cápsula           | N.º | 01    | 02    | 03    | 04    | 05    |
|-------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Golpes            | G   | 12    | 22    | 32    | 38    | 48    |
| Peso Bruto Úmido  | G   | 16,23 | 14,65 | 13,41 | 16,35 | 14,71 |
| Peso Bruto Seco   | G   | 14,75 | 13,27 | 12,22 | 14,61 | 13,28 |
| Peso da Cápsula   | G   | 7,78  | 7,29  | 7,33  | 7,65  | 7,93  |
| Peso da Água      | G   | 1,48  | 1,38  | 1,19  | 1,74  | 1,43  |
| Peso do Solo Seco | G   | 6,97  | 5,98  | 4,89  | 6,96  | 5,35  |
| Umidade           | %   | 21,2  | 23,1  | 24,3  | 25,0  | 26,7  |

Para a representação do limite de liquidez, que pode ser visualizado na figura 1, foram colocados os pontos correspondentes a tabela e traçado uma reta tangenciando os pontos mais próximos. Em seguida, traçou-se uma outra reta do ponto de 25 golpes até a outra reta e depois ligou-se para o ponto de umidade, obtendo o valor de 24,1, que é o limite de liquidez do material.



**Figura 1: Limite de Liquidez. Fonte: Autor do Trabalho.**

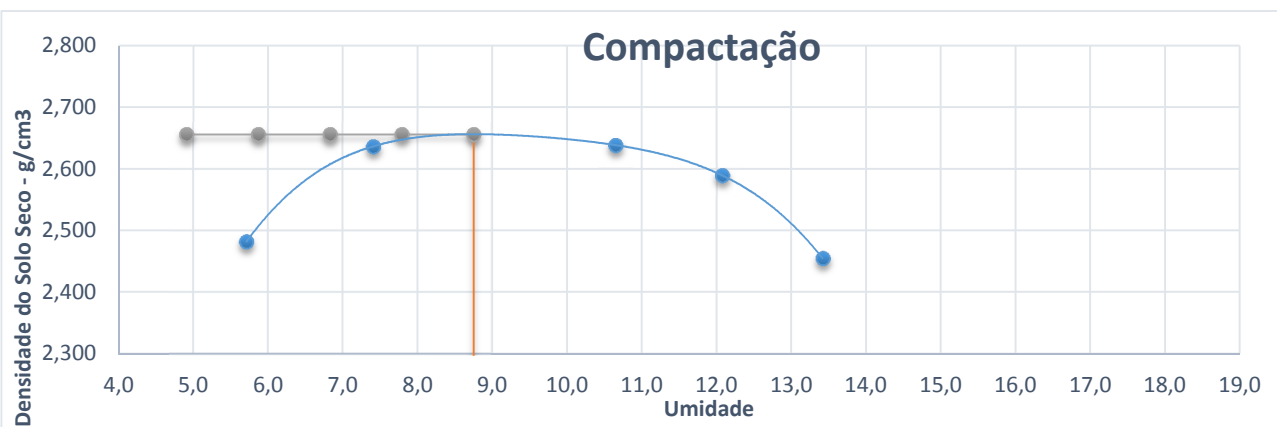
O ensaio para determinação do Limite de Plasticidade foi baseado na norma NBR 7180/2016. Os resultados estão descritos na Tabela 2, onde foram registrados os pesos das amostras moldadas, e assim, foi determinado o limite de plasticidade, que é uma média aritmética dos cinco pontos, desde que o valor da média não defira em 5% das outras porcentagens (NBR 7180/2016).

**Tabela 2. Determinação do limite de plasticidade. Fonte: Autor do Trabalho.**

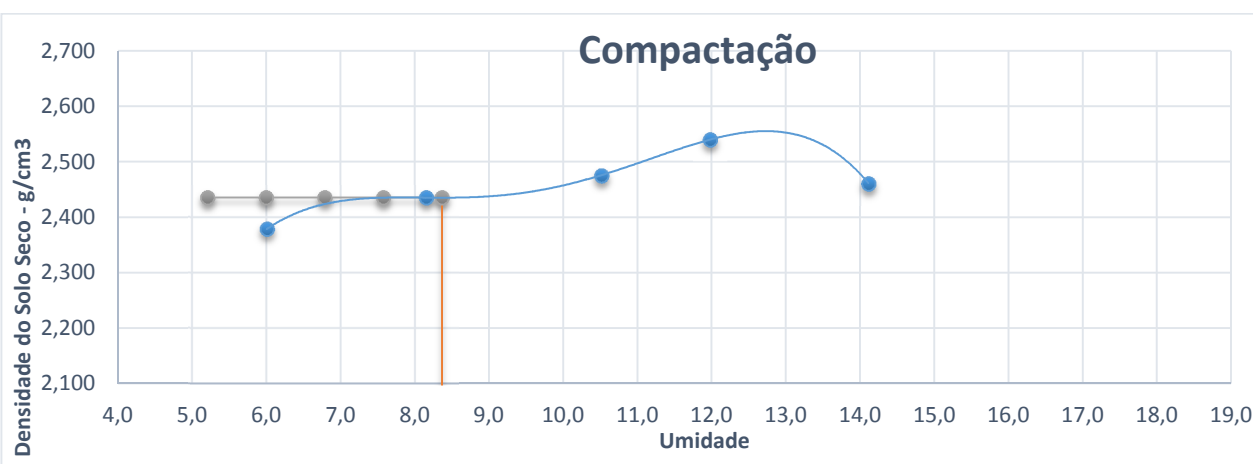
| LIMITE DE PLASTICIDADE |     |      |      |      |      |      |          |
|------------------------|-----|------|------|------|------|------|----------|
| Cápsula                | N.º | 08   | 04   | 59   | 01   | 13   | LL       |
| Peso Bruto Úmido       | g   | 9,31 | 9,20 | 8,69 | 9,06 | 9,01 |          |
| Peso Bruto Seco        | g   | 9,00 | 8,92 | 8,45 | 8,81 | 8,75 | LP       |
| Peso da Cápsula        | g   | 7,38 | 7,48 | 7,22 | 7,53 | 7,44 |          |
| Peso da Água           | g   | 0,31 | 0,28 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | OBS: IP: |
| Peso do Solo Seco      | g   | 1,62 | 1,44 | 1,23 | 1,28 | 1,31 |          |
| Umidade                | %   | 19,1 | 19,4 | 19,5 | 19,5 | 19,8 |          |
|                        |     |      |      |      |      |      | 24,1%    |
|                        |     |      |      |      |      |      | 19,5%    |
|                        |     |      |      |      |      |      | 4,6%     |

## ➤ Ensaio de compactação

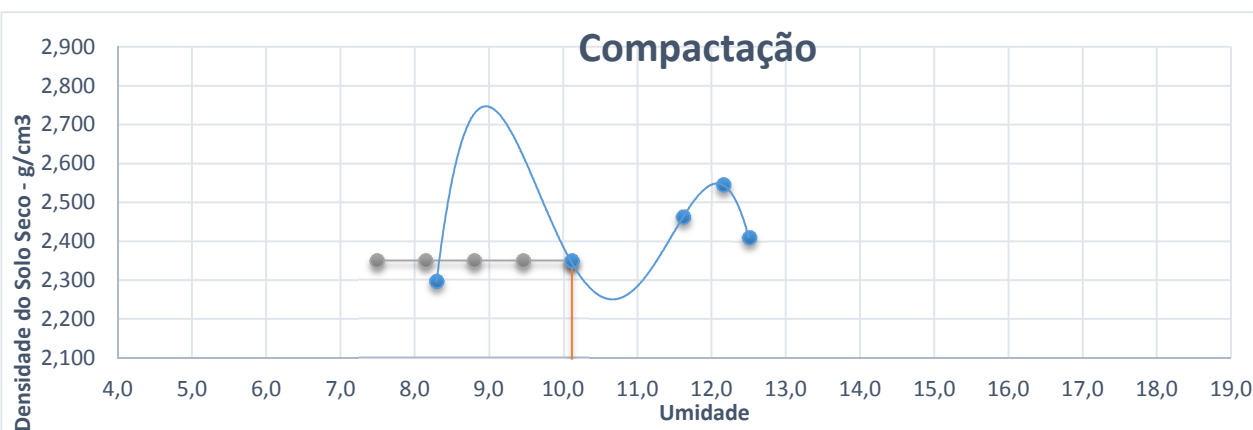
O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7182/2016. Com os resultados obtidos, montou-se as curvas de compactação, que estão descritas por meio das figuras 2, 3, 4 e 5.



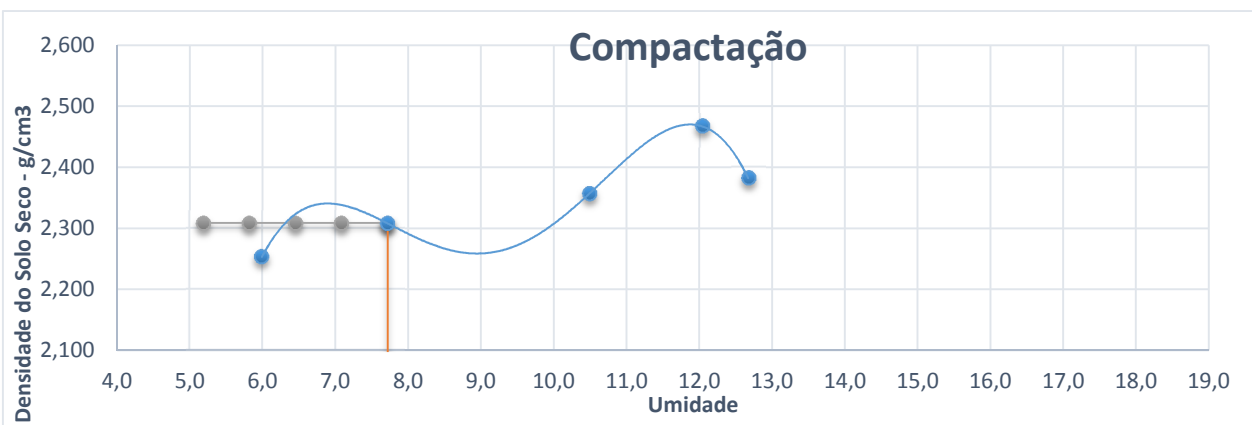
**Figura 2: Curva de Compactação (100% Solo Laterítico). Fonte: Autor do Trabalho.**



**Figura 3: Curva de Compactação (20%RCD-80%Solo). Fonte: Autor do Trabalho.**



**Figura 4: Curva de Compactação (30%RCD-70%Solo). Fonte: Autor do Trabalho.**

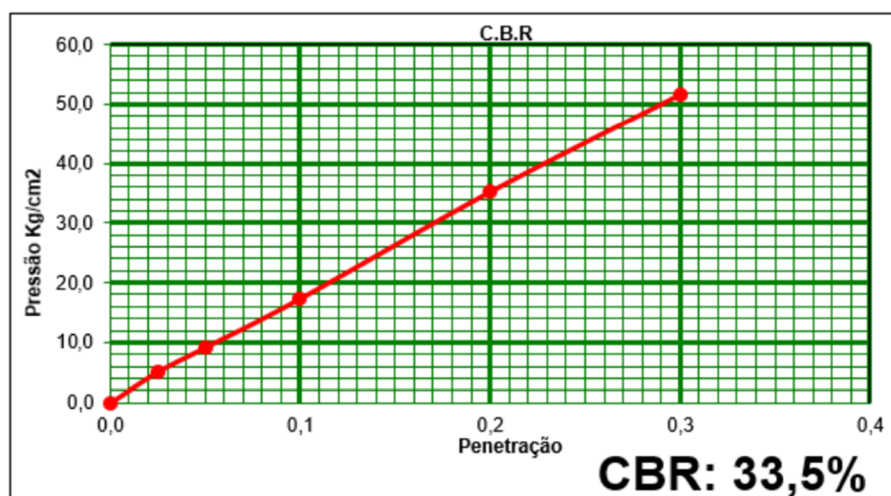


**Figura 5: Curva de Compacção (40%RCD-60%Solo). Fonte: Autor do Trabalho.**

De acordo com as figuras, podemos perceber que a curva de compactação das amostras associadas ao agregado reciclado de RCD, se comportaram de uma maneira totalmente diferente com relação a do solo laterítico, mas que segundo DIAS (2004), é algo normal, pois ao adicionar outros materiais ao solo, há uma mudança nas suas propriedades, e a prova disso, foi que em todas as proporções Solo-RCD utilizadas nessa pesquisa, as curvas de compactação se comportaram de maneira parecida.

#### ➤ Ensaio do Índice de Suporte Califórnia

O experimento foi realizado de acordo com a NBR 9895/2016 e os resultados estão descritos por meio das figuras 6, 7, 8 e 9.



**Figura 6: Ensaio de CBR (100% Solo Laterítico). Fonte: Autor do Trabalho.**

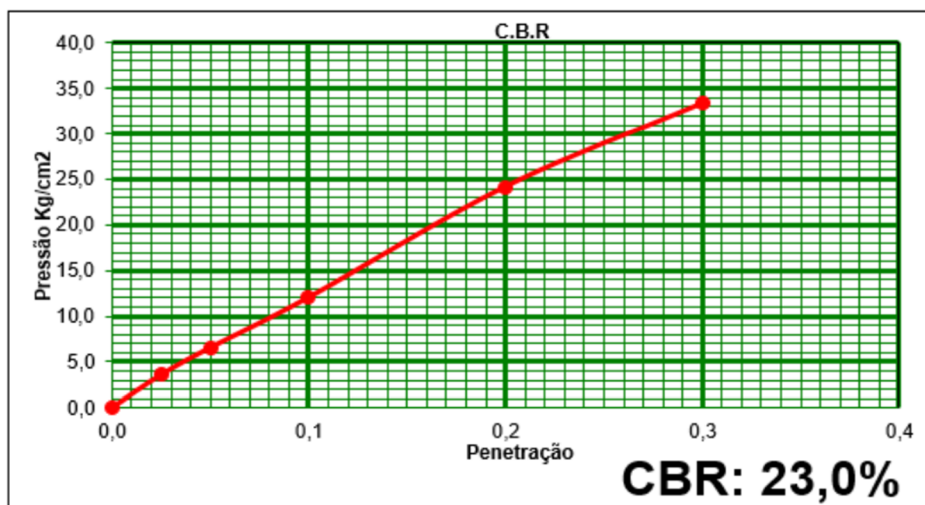


Figura 7: Ensaio de CBR (20%RCD-80%Solo). Fonte: Autor do Trabalho.

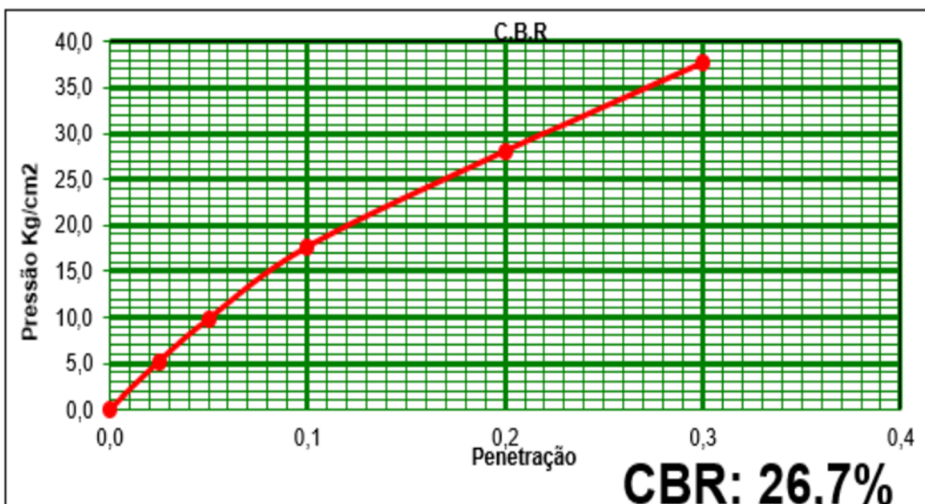


Figura 8: Ensaio de CBR (30%RCD-70%Solo). Fonte: Autor do Trabalho.

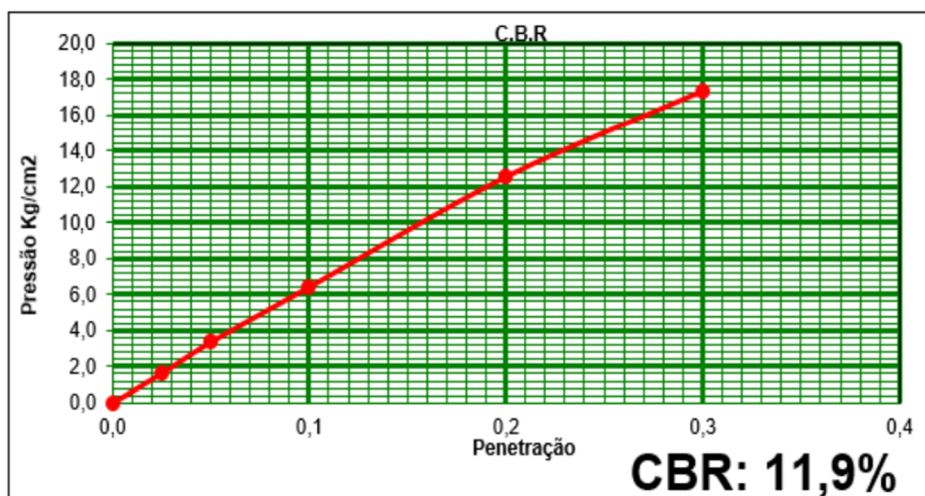


Figura 9: Ensaio de CBR (40%RCD-60%Solo). Fonte: Autor do Trabalho.

De acordo com resultados obtidos no ensaio de CBR, chegou-se à conclusão que esse solo pode ser utilizado na camada de sub-base de pavimentos, pois o índice de CBR foi de 33,5% e de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), para um solo ser utilizado na sub-base, ele precisa ter um CBR maior que 20%.

## ➤ Cálculo do Índice de Grupo

Segundo o Manual de pavimentação do DNIT (2006), para um solo ser utilizado na camada de sub-base, o material precisa ter  $CBR \geq 20$  e índice do Grupo  $IG = 0$  para qualquer tipo de tráfego. Para o cálculo do IG foi utilizado a seguinte fórmula: (BERNUCCI *et al.*, 2008)

### • Fórmula:

$$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d \quad (\text{Fórmula 1})$$

Onde:

a = porcentagem do solo que passa na peneira Nº 200 menos 35%. Se o valor de “a” for negativo adota-se zero, e se for superior 40, adota-se este valor como limite máximo.

b = porcentagem do solo que passa na peneira Nº 200 menos 15%. %. Se o valor de “b” for negativo adota-se zero, e se for superior 40, adota-se este valor como limite máximo.

c = valor do limite de liquidez menos 40%. Se o valor de “c” for negativo adota-se zero, e se for superior a 20, adota-se este valor como limite máximo.

d = valor do índice de plasticidade menos 10%. Se o valor de “d” for negativo adota-se zero, e se for superior a 20, adota-se este valor como limite máximo.

### • Resultado:

%passando na peneira de Nº 200: 17,8%

Limite de liquidez: 24,1%

Índice de plasticidade: 4,6%

$a = 17,8\% - 35\% = -17,2\% \rightarrow 0$

$b = 17,8\% - 15\% = 2,8\%$

$c = 24,1\% - 40\% = -15,9\% \rightarrow 0$

$d = 4,6\% - 10\% = -5,4\% \rightarrow 0$

$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d$

$IG = 0,2 \times 0 + 0,005 \times 0 \times 0 + 0,01 \times 2,8 \times 0$

$IG = 0$

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, chegamos à conclusão que o material poderia ser utilizado na camada de sub-base, pois o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) relata que o material precisa ter ISC maior que 20% e índice de grupo igual a zero. O solo puro, o com 20% de RCD e o com 30%, tiveram esses resultados, logo, podem ser utilizadas nessa camada sem comprometer a estrutura do pavimento.

Percebe-se, também, que acrescentando 20% de RCD o solo apresentou uma queda no seu ISC, ao acrescentar 30%, já houve um aumento, e ao acrescentar 40%, o ISC já teve um decréscimo significativo, não servindo para a camada de sub-base, portanto, as proporções em torno de 30% de RCD para serem associadas ao solo, são as mais adequadas, pois 20% de RCD, é uma quantidade baixa, logo, não oferece a máxima capacidade de suporte ao solo quando misturado com RCD, e com 40% de RCD, o ISC já teve uma queda extrema, pois a quantidade de resíduos acrescido já interferiu na sua resistência.

Portanto, a proporção que apresentou melhores resultados foi a de 30% do resíduo associado ao solo, pois mesmo com a diminuição do ISC, quando comparado ao resultado do solo laterítico puro, essa diminuição foi mínima, e seria uma destinação ambientalmente correta para descartes de resíduos da construção, logo, se as empresas utilizarem 30% de RCD nas obras de pavimentação, além da diminuição da quantidade de resíduos no planeta, ainda haveria uma redução nos custos com o aterro, já que o RCD possui um valor bem menor que o solo laterítico, sem contar a diminuição na exploração de jazidas para prospecção de material para a pavimentação. Dessa forma, além dos ganhos ambientais, haveria ganhos econômicos com a substituição da exploração de novas jazidas, por resíduos que na maioria das vezes são descartados em locais inapropriados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2016) **NBR 6459/2016 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, RJ.
2. \_\_\_\_\_ (2016) **NBR 7182/2016 – Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, RJ.
3. \_\_\_\_\_ (2016) **NBR 7180/2016 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, RJ.
4. \_\_\_\_\_ (2016) **NBR 7181/2016 – Análise granulométrica para solos, com determinação de diâmetro correspondente a cada fração de material**. Rio de Janeiro, RJ
5. \_\_\_\_\_ (2016) **NBR 9895/2016 – Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, RJ
6. ABDON, M. R.; BERNUCCI, L. L. B. **Pavimento ecológico: uma opção para a pavimentação de vias das grandes cidades**. Sinal de trânsito. São Paulo, 2007.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - ABRECON. **Pesquisa setorial 2014/2015**. São Paulo, 2015. Disponível em: [http://www.abrecon.org.br/pesquisa\\_setorial/](http://www.abrecon.org.br/pesquisa_setorial/). Acesso em: 11/03/17
8. BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro. Abeda, 2008.
9. CANDIOTTO, C. *et al.* **Fundamentos da pesquisa científica: teoria e prática**. Editora Vozes, 1ª edição, 2011.
10. CARDOSO, A. C. F. *et al.* **Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 31, 2014.
11. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 2002. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em 07/03/17.
12. CRISTO, F. I. de et al. **Parâmetros operacionais para implantação de uma recicladora de resíduos da construção civil**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2014, Natal. Anais eletrônicos... Natal: Associação Brasileira de Custos, 2014. 16 p.
13. DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. São Paulo, 2004. 263p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
14. DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.