

## **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO PARA BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTO ASFÁLTICO.**

Arthur Silva Zimmer<sup>1</sup>; Agleison Ramos Omido<sup>2</sup>

arthurzimmer10.az@gmail.com<sup>1</sup>; agleisonomido@ufgd.edu.br<sup>2</sup>;

**RESUMO** – Ao longo do tempo os métodos construtivos de alvenaria convencional, sendo o mais usados no país vêm gerando uma grande quantidade de resíduos, tanto em construções quanto em reformas ou demolições, onde muitas das vezes os resíduos produzidos são descartados em locais incorretos, sendo que esta problemática abrange desde cidades pequenas até principalmente grandes centros. Geralmente as camadas de base e sub-base são compostas por brita e pedrisco, e neste estudo foi feita a substituição desses materiais pelo Resíduo da Construção Civil (RCC). A partir dos ensaios de caracterização foram classificados os dois materiais usados para esse estudo e verificado se atendem as especificações. Com a utilização do RCC foi possível obter um aumento de quase 3 vezes em sua resistência, mostrando que a troca é benéfica e atende as especificações recomendadas pela norma.

**Palavras-chave:** Resíduo Construção Civil (RCC). Reforço e Estabilização de Solo. Pavimentos.

**ABSTRACT** – Over time the construction methods of conventional masonry, the most used in the country, have generated a large amount of waste, both in construction and in renovations or demolitions, where often the waste produced is discarded in incorrect locations, and this This problem ranges from small towns to mainly large cities. Generally the base and sub-base layers are composed of stone gravel or pebble stone, and in this study, the Construction Waste (RCC) replaced these materials. From the characterization tests, the two materials used for this study were classified and verified if they meet the specifications. By using the RCC, it was possible to achieve an increase of almost 3 times the resistance, showing that the exchange is benefic and meets the specifications recommended by the standard.

**Keywords:** Civil Construction Residue. Reinforce and Soil Stabilization. Pavements.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem um papel de suma importância para a economia do Estado e também é responsável por uma boa parcela do PIB do país, em entrevista à Figueirêdo (2017), Cerqueira afirma que a indústria da construção civil corresponde a 6,2% do PIB do Brasil, o que demonstra a importância dessa atividade para a economia. Além disso, para o ano de 2019 é esperado um aumento de 2% na participação do PIB de acordo com Marko (2019).

A política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelecida pela Lei nº 12.305/10 contém instrumentos que prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos (BRASIL, 2010, p.3). Entretanto, o método de construção mais utilizada no Brasil a de alvenaria convencional que causa grandes problemas ambientais devido à disposição dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em locais inapropriados como: córregos, terrenos baldios e em acostamento de estradas. As pesquisas feitas por Antochaves e Pierezan (2012) apontam que cerca de 70 milhões de toneladas de resíduos são descartados de forma incorreto. Estes problemas não são exclusivos de grandes centros podendo ser detectados também em regiões interioranas.

Além disso, Antochaves e Pierezan (2012) ainda descrevem que os descartes incorretos causam um enorme problema ambiental e econômico para o Estado e para o proprietário do local no qual foi despejado os resíduos, pois a remoção e o tratamento dos mesmos geram um encargo enorme trazendo ainda um problema social incalculável como poluição visual, inundação e afetando principalmente a qualidade de vida dos habitantes da região.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA (nº 307, 2002) estabelece que os principais responsáveis pela geração de resíduos da construção civil são as demolições, reformas e reparos, onde a produção dos resíduos gerados em um canteiro de obra tem uma participação de 51% a 70% da massa total produzido em uma cidade (MARQUES NETO, 2005). Ademais, o relatório final do Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC<sup>1</sup>) de 2007, elaborado pela ONU aponta que os resíduos sólidos são responsáveis por 2,8% da emissão de CO<sub>2</sub> e de outros gases que colaboram com o aquecimento global.

Segundo uma pesquisa feita pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON em 2014/2015, é estimado que o Brasil gera anualmente 84 milhões de m<sup>3</sup> de RCC (ABRECON, 2015). Atualmente existem

---

<sup>1</sup> IPCC: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

cerca de 310 usinas de reciclagem de RCC, com a capacidade máxima de produção de 958.000 m<sup>3</sup>, porém as usinas trabalham com apenas 45% da produção total, sendo assim, 21% dos resíduos produzidos no Brasil são reciclados (ABRECON, 2015).

Os materiais utilizados na construção civil possuem uma fonte finita e a mudança da conscientização da sociedade principalmente na área ambiental fez com que a engenharia busque por soluções para esta problemática. Muitas aplicações foram encontradas para o reuso desse material utilizado e fabricado durante uma etapa da construção civil, sendo elas: pisos; muros de contenção; camadas de pavimentação; estabilização de taludes e barragens de pequeno porte (OMIDO e col., 2018).

No Brasil, estudos sobre o uso do RCC em pavimentos asfálticos estão sendo feitos desde a década de 80 (MOTTA, 2005), sendo que de acordo com o Motta, no Brasil, na cidade de São Paulo em 1984 foi utilizado pela primeira vez o resíduo da construção civil em uma via.

Com o passar dos anos, vários estudos foram feitos para o emprego do RCC e a grande maioria comprovou, no ponto de vista técnico que o agregado reciclado possui o mesmo desempenho quanto ao material natural. Mota (2005) observou que a os valores resistência do RCC de forma geral apresentam bons resultados. Sousa (2011), concluiu que em relação a resistência e a compressão simples, o agregado reciclado a partir do concreto após os ensaios triaxiais cíclicos teve um aumento na resistência a compressão simples em todos os tempos de cura utilizado.

Segundo Carneiro (2001), são diversas as vantagens quando se faz o uso do agregado reciclado na pavimentação, tanto no âmbito econômico quanto no social e ambiental. Entretanto, o uso exclusivo desse agregado para constituir as camadas de pavimentação pode ser inviabilizado devido ao não atendimento das especificações dados pelas normas, sendo assim é necessário constituir um traço com o solo utilizado e o RCC para ele ser melhorado.

Esse trabalho tem como objetivo analisar o desempenho técnico da utilização do RCC para a estabilização de base e sub-base de pavimentação asfáltica flexível.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 PAVIMENTAÇÃO**

A camada de pavimentação tem como função resistir e distribui ao subleito os esforços produzidos a partir do tráfego de veículos. Além disso, deve possuir uma boa

condição de rolamento e garantir ao usuário segurança (CARNEIRO, 2001). O DNIT classifica a pavimentação em 3 tipos, sendo a flexível, semi-rígido e o rígido .

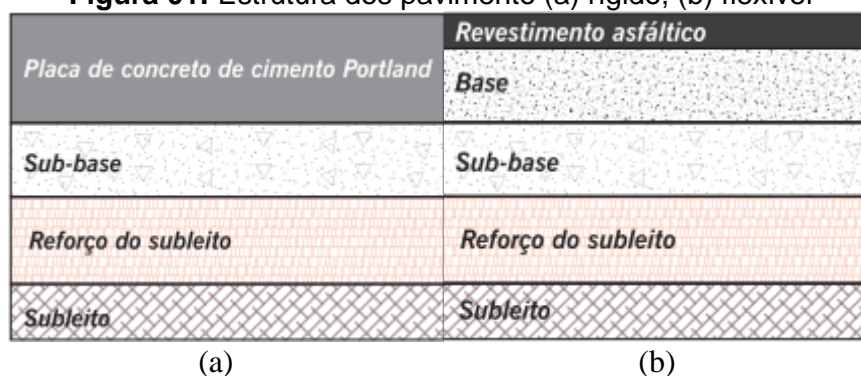
O flexível geralmente é constituído por 03 camadas estruturais, onde todas sofrem uma deformação elástica significativa quando é aplicado um carregamento sob ela, um exemplo seria a base de brita graduada com revestimento asfáltica (MANUAL DNIT 2006).

O semi-rígidos é caracterizado quando a via possui uma base cimentada, onde foi utilizado algum aglutinante com propriedades cimentícias em sua camada, um grande exemplo seria o solo cimento revistado por uma camada asfáltica (MANUAL DNIT 2006).

O rígido se caracteriza pelo revestimento ter uma alta rigidez, com isso toda as tensões geradas pelos carregamento sob a via é absorvida por essa camada. No país u exemplo desse tipo de pavimento é quando a camada de revestimento é constituído por uma laje de concreto (MANUAL DNIT 2006).

Através da Figura 01 pode ser observado as camadas constituintes da pavimentação rígida e flexível.

**Figura 01:** Estrutura dos pavimento (a) rígido, (b) flexível



Fonte: Bernucci at all,2006

Além de que, o Departamento Nacional de Trânsito (DNIT) especifica a função de cada camada, podendo ser observada no Quadro 01.

**Quadro 01-** Definição das camadas de pavimentação

Camada	Função
Subleito	Conformar o leito estradal tanto na transversal como longitudinalmente.
Reforço do Subleito	Executada sobre o subleito quando é necessário a redução da espessura da camada da sub-base.
Sub-base	Resistir e transmitir as cargas verticais para o reforço do subleito ou subleito.
Base	Resistir aos esforços verticais exercido pelos veículos, distribuindo adequadamente as camadas subjacentes.

Fonte: Autor, (2019) (Adaptado do DNIT)

Os materiais que geralmente constituem as bases ou sub-bases granulares são o solo, produtos de britagem de rochas, seixos e areias. Além disso, essas camadas podem ser constituídas por outras combinações de materiais, desde que apresentem a estabilidade e durabilidade adequadas para resistir aos esforços nelas solicitadas.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O CONAMA

O art. 2º CONAMA (2002) define RCC como materiais oriundos de construções ou reformas como bloco cerâmico, tijolo e concreto em geral. Além disso, a resolução nº 307 divide os resíduos da construção em quatro classes – detalhada no Quadro 02 – descrevendo qual a potencialidade de reutilização ou reciclagem do material.

**Quadro 02 - Classificação dos resíduos segundo a resolução nº307do CONAMA**

Classe	Tipos de materias encontrados na composição do resíduo
A	Componentes cerâmicos: (Tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento); argamassa e concreto.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plástico, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e embalagens vazias de tinta imobiliárias e gesso.
C	São resíduos no qual não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permita a sua recuperação ou reciclagem.
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos, telhas e demais objetos que contenham amianto.

Fonte: CONAMA, (2002).

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A NBR 10.004

A NBR 10004 (2004) classifica os resíduos em duas classes de acordo com os impactos que eles oferecem ao meio ambiente e a saúde.

Resíduos Classe I – Perigosos

Resíduos Classe II – Não Perigosos	Resíduos Classe II A – Não inertes;
	Resíduos Classe II B – Inertes;

Os resíduos de Classe 1-Perigosos apresentam propriedades químicas, físicas que podem gerar algum risco à saúde pública e/ou ao meio ambiente quando não descartados corretamente. Os resíduos dessa categoria apresentam características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. São encontrados nessa classe resíduos como: óleo lubrificante, lâmpada com vapor de mercúrio após o uso, entre outros (LEITE, 2014).

Os resíduos da Classe II A- Não inertes; São resíduos que podem apresentar propriedades como biodegradabilidade ou solubilidade em água. Exemplos de resíduos não

inertes são: restos orgânicos da indústria alimentícia, fibras de vidros, gessos, etc (LEITE, 2014).

Os resíduos da Classe II B- Inertes; apresentam características de não sofrer nenhuma alteração em sua decomposição com o passar do tempo, ou seja, eles não tem qualquer tipo de reação química ou física que afetam negativamente outras substâncias. Sucata de ferro e de aço podem ser enquadrados nesta classificação segundo (LEITE, 2014).

## 2.4 ESPECIFICAÇÕES PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS AGREGADOS

Para a utilização do RCC em reforços de sub-base e base a NBR-15115 (2004) estabelece requisitos mínimos para a sua aplicação. Ela determina que os mesmos ensaios que são usados para estabelecer parâmetros de agregados oriundos de jazidas devem ser feitos para o agregado reciclado. Além disso, a Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) também prescreve as condições de aplicação do RCC pela especificação de serviço PMSP/SP ETS- 001/2003.

### 2.4.1 CORREÇÃO GRANULOMÉTRICA

Os solos ou agregados são constituídos por diversas partículas de tamanhos diferentes, com isso a determinação de suas dimensões são de suma importância para obter uma distribuição granulométrica, ou seja, a distribuição da massa em cada faixa granulométrica. O Quadro 03 apresenta os valores limites admissíveis segundo a NBR-15115 e a PMSP/SP ETS – 001/2003 para a execução de bases e sub-bases.

**Quadro 03** - Limites determinados pela norma e especificação da prefeitura de São Paulo.

Norma/ Especificação	Dimensão características máxima dos grãos (mm)	Porcentagem de passante na peneira 0,42 mm (%)	$C_c$	$C_{nu}$
NBR 15115/2004	63,5	$10 \leq P \leq 40$	-	$C_{nu} \geq 10$
PMSP/SP ETS-01	50	$10 \leq P \leq 30$	$1 \leq C_c \leq 3$	$C_{nu} \geq 10$

Fonte: ABNT, 2004 e PMSP, (2003).

Segundo Carlos Souza, o coeficiente de não uniformidade ( $C_{nu}$ ) defini se o solo é “bem graduado” ou “mal graduado”. A expressão “bem-graduado” expressa a existência de diversos diâmetros de grãos na composição do solo, sendo que para o ponto de vista da engenharia é um bom comportamento. Essa característica pode ser definida pela equação 01 (Pinto,2006):

$$C_{nu} = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (01)$$

D<sub>10</sub>: Diâmetro correspondente a 10% da porcentagem passante, em mm.

D<sub>60</sub>: Diâmetro correspondente a 60% da porcentagem passante, em mm.

Já o coeficiente de curvatura (C<sub>c</sub>) detecta o melhor formato da curva granulométrica, podendo analisar os locais onde possuem eventuais descontinuidades ou uma grande quantidade de grãos mais grossos, podendo ser definido pela equação 02 (Pinto,2006):

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (02)$$

D<sub>30</sub>: Diâmetro correspondente a 30% da porcentagem passante, em mm.

Em determinadas ocasiões esses coeficientes não são atingidos, com isso é necessário fazer uma estabilização granulométrica, sendo sua função alterar as características da propriedade do solo através da adição ou retirada de partículas de solo. (GOULARTE e PEDREIRA, 2009). Entretanto, para encontrar a quantidade correta dos variados materiais constituídos em uma amostra é necessário a utilização de proporções adequadas. Nesse trabalho o método utilizado para encontrar a quantidade correta de cada material para formar um traço foi o método analítico.

#### **2.4.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA OU DE ATTERBERG**

As frações finas que compõem um material não é apenas definida pela granulometria pois, suas propriedades dependem do teor de umidade, esfericidade, arredondamento, composição química e mineralógica das frações finas do material utilizado (CARNEIRO, 2001).

Os ensaios de consistência relacionados às características citadas são obtidos a partir dos Limites de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e o Índice de plasticidade (IP) especificado pela NBR 6459 (2016) e NBR 7180 (2016), sendo que o primeiro estabelece a umidade de transição entre o estado líquido e plástico, enquanto o segundo define umidade de transição entre o estado plástico e semi-sólido. Já o índice de plasticidade é obtido pela diferença entre os dois limites (CARNEIRO, 2001). A especificação técnica do Departamento de Estradas e Rodagem – DER/SP (2006), estabelece os seguintes limites: LL < 25% e IP < 6% para o uso do material em bases ou sub-bases de pavimentos asfálticos.

### 2.4.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

A compactação é um método de estabilização obtido pela transferência de energia ao solo e/ou agregados, ela se dá pela forma de um processo manual ou mecânico (CARNEIRO, 2001), especificado pela NBR 7182 (2016). Através desse ensaio é obtida a umidade ótima onde o solo adquire a sua maior massa específica aparente seca máxima, aumentando assim sua resistência ao cisalhamento e diminuindo o índice de vazios (CARNEIRO, 2001).

### 2.4.4 ÍNDICE DE SUPORTE DE CALIFÓRNIA (ISC)

O Índice de Suporte Califórnia (ISC), em inglês California Bearing Ratio (CBR), é um ensaio especificado pela NBR 9895, sendo que este ensaio tem como função determinar a deformabilidade, resistência e expansão dos solos e/ou materiais como RCC à carga estática, em condições saturadas. Através da norma são fixados valores mínimos de acordo com sua função estrutural no pavimento, especificado no Quadro 04.

**Quadro 04** - Valores mínimos do CBR e máximos da expansão.

Norma	Parâmetro	Base	Sub-base	Reforço do subleito
NBR 15115/2004	CBR (%)	≥ 60	≥ 20	≥ 12
	Expansão (%)	≤ 0,5	≤ 1,0	≤ 1,0

Fonte: ABNT (2004).

## 2.5 TRAÇOS UTILIZADOS

A partir de uma pesquisa feita na cidade de Dourados - MS foi encontrado que a estabilização granulométrica mais utilizada em bases e sub-bases é através do uso de brita, pedrisco e solo onde a quantidade cada uma é de 10%, 10% e 80% respectivamente, neste estudo esta estabilização será chamado de traço A.

Nesta pesquisa foi feito a substituição desses agregados pelo resíduo da construção civil, sendo que essa mistura será denominada traço B. Após realizar os ensaios em ambos os traços, pode ser feito uma comparação para verificar se a substituição teve resultados positivos ou não.



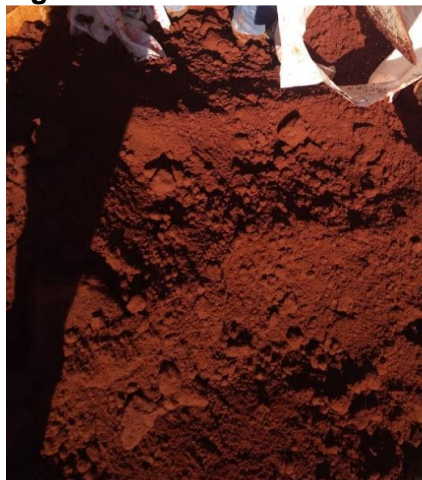
### 3 MATERIAS E MÉTODOS

#### 3.1 ORIGEM DOS MATERIAIS UTILIZADOS

##### 3.1.1 SOLO

O solo utilizado na mistura RCC/SOLO foi coletado na Jazida Izaura localizada na cidade de Itaporã – MS com latitude  $22^{\circ}03'31,61''S$  e longitude  $54^{\circ}48'19,38''O$ . Na Figura 02 está apresentado o local de coleta do solo.

**Figura 02:** Solo coletado.



Fonte: Autor, 2019

Coletado o material em campo, em laboratório uma pequena amostra foi colocado na estufa por 24 horas para encontrar a umidade que o solo foi encontrado, sendo que o resultado da umidade natural foi de 14,27%.

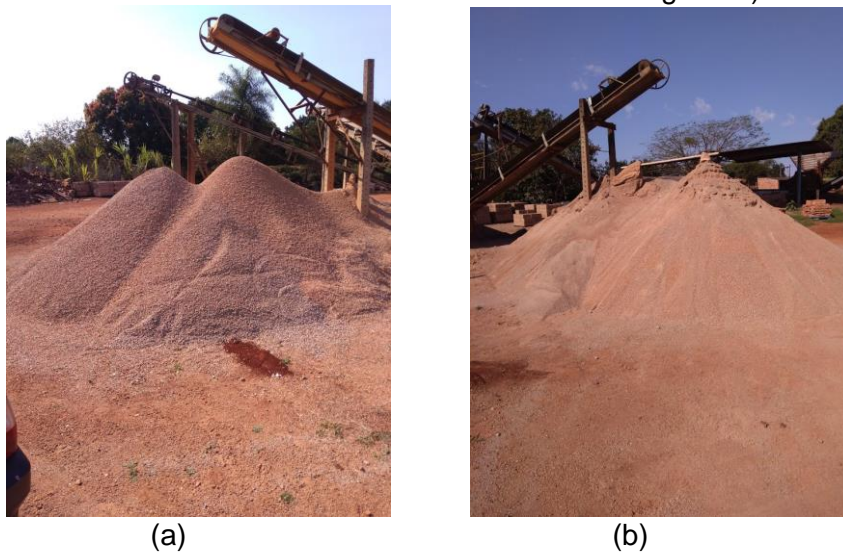
##### 3.1.2 AGREGADO RECICLADO

O agregado reciclado de resíduos da construção civil foi coletado na Usina Recicladora de Entulhos Vai e Vem localizado na cidade de Dourados – MS com latitude  $22^{\circ}14'06,3''S$  e longitude  $54^{\circ}44'34,30''W$ . Devido a chance do material apresentar variações ele foi coletado durante um único dia, garantido assim que o agregado fosse oriundo do mesmo lote de reciclados.

O resíduo fornecido pela Usina de Reciclagem apresentava duas granulometrias distintas, para uma melhor identificação foi denominado RCC1 o resíduo mais “grosso”

enquanto o RCC2 o mais “fino”. As Figuras 03 e 04 apresentam os dois materiais no local onde é produzido.

**Figura 03 e 04:** Materiais coletados na usina de reciclagem. a) RCC1, b) RCC2



Fonte: Autor, 2019

## 3.2 ENSAIOS REALIZADOS

Para verificar se a substituição do RCC pela brita e pedrisco seguiu-se as especificações determinadas pelas normas, sendo necessário realizar diversos ensaios, desde o mais simples até o mais complexo, sendo que para realizar estes procedimentos os materiais utilizados foram preparados conforme a NBR 6457.

### 3.2.1 GRANULOMETRIA

Os ensaios de peneiramento foram realizados para todos os materiais utilizados no estudo seguindo a NBR 7181 e preparados de acordo com a NBR 6457. Para realizar o ensaio foram utilizados 500 g da amostra do material e deixado por 5 min nas peneiras, sendo que o tempo foi estipulado em laboratório pois a norma não recomenda nenhum tempo de vibração.

### 3.2.2 LIMITE DE LIQUIDEZ

Para realizar o ensaio foi usado o aparelho de Casagrande, conforme a norma foi utilizado os materiais passantes na peneira 40. Colocando o mesmo em um frasco de porcelana foi adicionado 70g de água e misturado com uma espátula metálica até entrar em um regime plástico, ou seja, o material ficar “pastoso”. Após isso, foi colocado na concha

do aparelho e verificado com o cinzel se a altura central foi de 1 cm e feito uma ranhura com o mesmo na amostra e com o auxílio da manivela golpeado a concha a uma altura de queda livre de 1 cm e contado quantos golpes foram necessários para a ranhura se fechar ao longo de 1 cm de comprimento. Retira-se então uma pequena amostra da concha pesa e coloca na estufa por 24 horas para encontrar a umidade do material. O mesmo procedimento foi realizado 5 vezes, sempre adicionando um pouco a mais de água formando assim com o resultado uma reta decrescente, no qual o valor do limite de liquidez equivale ao valor da umidade com 25 golpes.

### 3.2.3 LIMITE DE PLASTICIDADE

Utilizando a mesma amostra do ensaio anterior, foi feito uma esfera com a palma da mão e posteriormente colocado em uma placa de vidro esmerilhada e aplicado uma pequena pressão sobre a amostra e “rolado” para frente e para trás até atingir 100mm de comprimento de 3mm de diâmetro. Após isso uma pequena amostra é levada para a estufa por 24 horas para encontrar a umidade. Ao total foram feitos 5 pontos onde no mínimo 3 amostras não pode se diferir em 5 % do valor da umidade média.

### 3.2.4 ÍNDICE DE PLASTICIDADE

Encontrando os valores dos itens 3.2.1 e 3.2.2 é possível encontrar o valor do índice de plasticidade através da equação a seguir.

$$IP = LL - IP \quad (3)$$

Com esse valor e os passantes nas peneiras Nº 10,40 e 200 é possível classificar o material pelo sistema rodoviário, observado na Figura 05.

### 3.2.5 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

O aparelho utilizado para realizar o ensaio de compactação foi o Proctor Intermediário no qual o cilindro possui um volume de 2000 cm<sup>3</sup>, com o peso do soquete de 4,5 kg e uma altura de queda livre de 45,7 cm e 26 golpes para cada camada, sendo cinco o total de camadas feita conforme a NBR 7182. A cada camada foi adicionado 140g de

água, ou seja, 2% do peso total da amostra utilizado para realizar o ensaio. Após realizar 5 vezes o mesmo ensaio foi possível traçar um gráfico da densidade seca versus umidade, no qual foi possível encontrar a umidade ótima que apresenta a maior densidade seca para a amostra.

### **3.2.6 ISC**

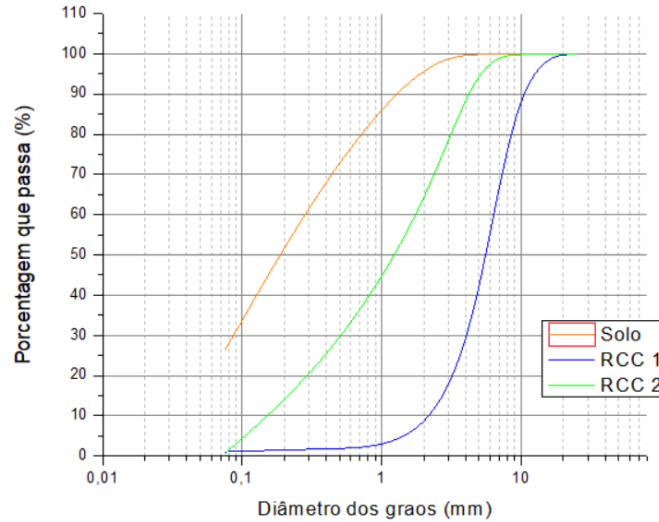
O ensaio de Índice de Suporte Califórnia tem como procedimento aplicar uma força estática em um corpo de prova imerso na água durante 96 horas, sendo que após esse período o corpo de prova é submetido a uma força e uma pressão de penetração realizada por um pistão padronizado, onde é possível encontrar uma relação entre os dois fatores (SOUSA,2011). Além disso, durante o período no qual o corpo de prova é submetido a imersão é possível medir a expansão que a amostra sofre ao longo do tempo com um auxílio de um aparelho chamado extensômetro.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**

Ao coletar tanto o solo quanto o material de RCC foi realizado o ensaio de peneiramento. Através do Figura 06 é possível encontrar a distribuição granulométrica dos materiais ao longo das peneiras.

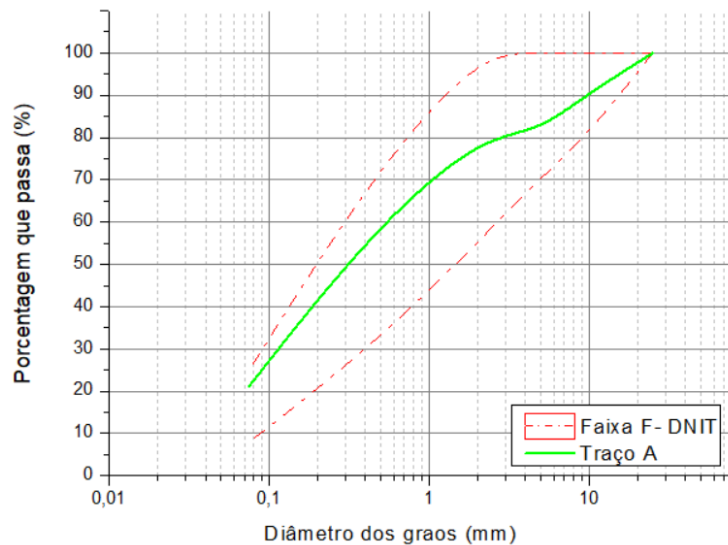
**Figura 06 – Distribuição granulométrica solo, RCC1 e RCC2.**



Fonte: (Autor, 2019).

A partir do Figura 07 pode ser observado a distribuição granulométrica do traço A, sendo possível afirmar que ele atende a faixa F estabelecida pelo DNIT.

**Figura 07 – Distribuição granulométrica Traço A.**



Fonte: (Autor, 2019).

## 4.2 ESCOLHA DO TRAÇO

Realizado o ensaio de granulometria do RCC e do solo foi verificado que quando usados separadamente nenhum dos dois se enquadra na faixa estabelecida pelo DNIT Quadro 05, com isso é necessário misturar os dois materiais para se enquadrar na faixa granulométrica para ser usada como base. Sendo assim, através do método analítico foi encontrado a

quantidade de cada material a ser usado, sendo 35% do RCC1, 40% do RCC2 e 25% do solo denominado traço B.

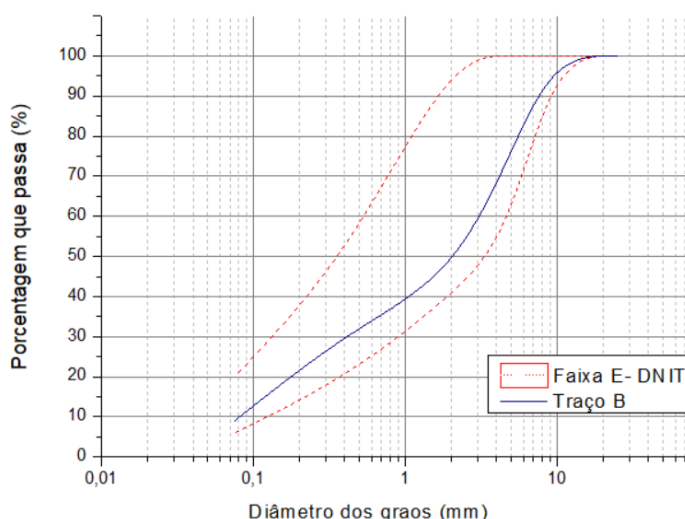
**Quadro 05 – Faixa granulométrica.**

Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$			Para $N < 5 \times 10^6$			Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
N° 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
N° 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
N° 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	±2
N° 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	±2

Fonte: Manual DNIT, (2006)

Analisando o Quadro 05 e a Figura 08 pode ser verificado que a distribuição granulométrica do material escolhido se enquadra na faixa E para N menor que  $5 \times 10^6$ , onde N é o número de repetições do eixo padrão de 80 kN durante o período de projeto.

**Figura 08 – Distribuição granulométrica traço B e faixa E do DNIT.**



Fonte: (Autor, 2019).

A partir do gráfico de granulometria mostrado anteriormente é possível retirar as características de distribuição granulométrica do traço B, estas por sua vez podem ser observadas no Quadro 06.

**Quadro 05 – Características do traço B.**

<b>Diâmetro característicos dos grãos</b>	25 mm
<b>Porcentagem de passante na peneira 0,42 mm</b>	31,35%
<b>C<sub>nu</sub></b>	37,5
<b>C<sub>c</sub></b>	0,67

Fonte: (Autor, 2019).

Os resultados obtidos demonstram que o traço B atende as exigências granulométricas requeridas tanto pela NBR 15115 quanto em partes para Instituição de

Serviço Editada da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP,2003) apresentados no Quadro 03, onde o Coeficiente de Curvatura especificada pela prefeitura não se enquadrou.

#### 4.3 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO E RCC

Através dos ensaios de limite de Atterberg e com o sistema de classificação rodoviário foi possível encontrar a classe do solo natural, traço A e da mistura do solo com RCC, com o auxílio da Tabela 01 pode ser observado os valores obtidos.

**Tabela 01** – Resultados ensaios de caracterização.

<b>Material</b>	<b>Traço A</b>	<b>Traço B</b>
<b>LL</b>	30	-
<b>LP</b>	19	-
<b>IP</b>	11	NP
<b>% Passante na #200</b>	26,20	8,98
<b>Classificação do solo</b>	A-2-4	A-3

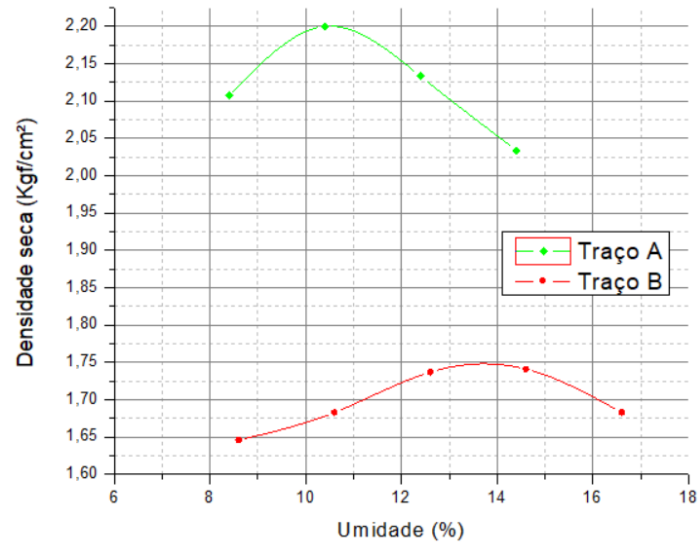
Fonte: (Autor, 2019).

O resultado obtido demonstram que o traço B atende as especificações técnica do Departamento de Estradas e Rodagem – DER/SP (2006), citadas no Item 2.4.2.

#### 4.3 COMPACTAÇÃO E CBR

Com o auxílio da Figura 09 pode ser verificado a umidade ótima, na qual os materiais apresentam sua maior densidade seca aparente, para o traço A foi encontrado um valor de 10,2%, já para o traço B foi encontrado um valor de 13,80%.

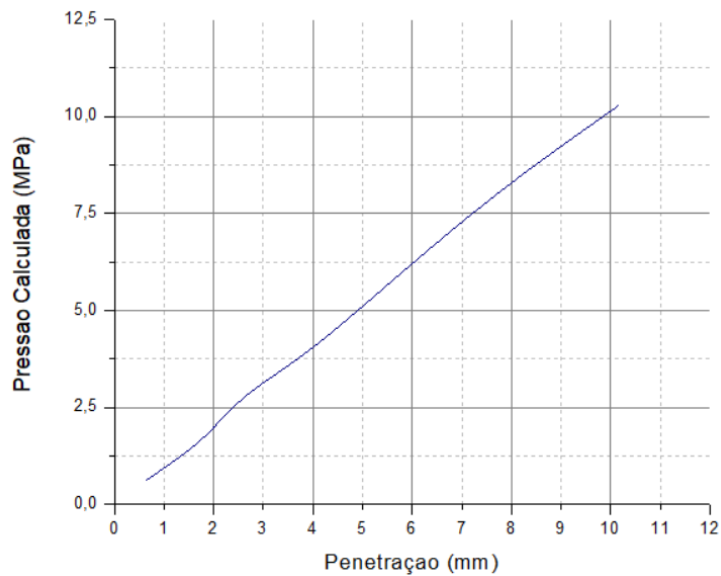
**Figura 09 – Ensaio de compactação traço A e B.**



Fonte: (Autor, 2019).

Já os valores médios das pressões de dois corpos do traço A sujeitos ao ensaio do CBR estão contidos no Figura 10. A expansão do traço A foi desprezível, sendo assim não foi utilizada neste estudo.

**Figura 10 – Valores Pressão.**



Fonte: (Autor, 2019).



Os valores do CBR em porcentagem do traço A pode ser analisado na tabela 02.

**Tabela 02 – Resultados CBR.**

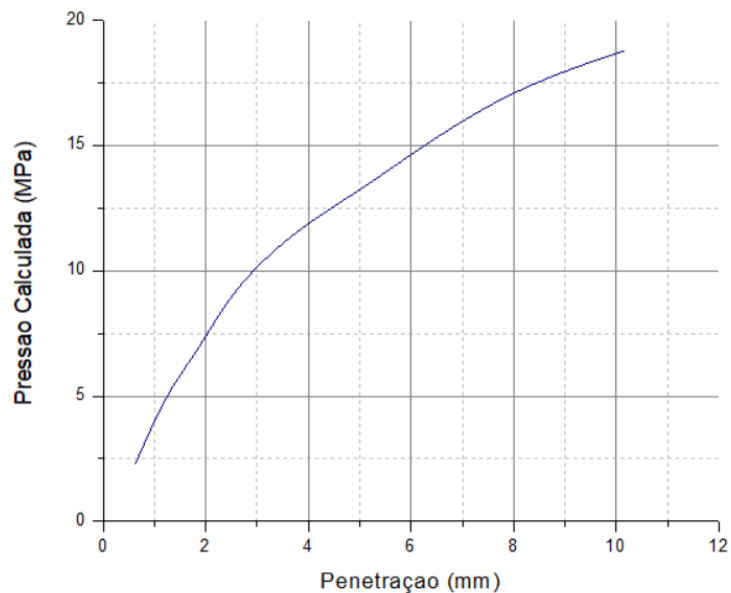
Resultado CBR (%)	Media CBR (%)
47,18	50,18
53,17	

Fonte: (Autor, 2019).

Analisando os valores especificados pela norma contidos no Quadro 04, o mesmo pode ser usado para uma sub-base ou reforço de subleito de um pavimento asfáltico.

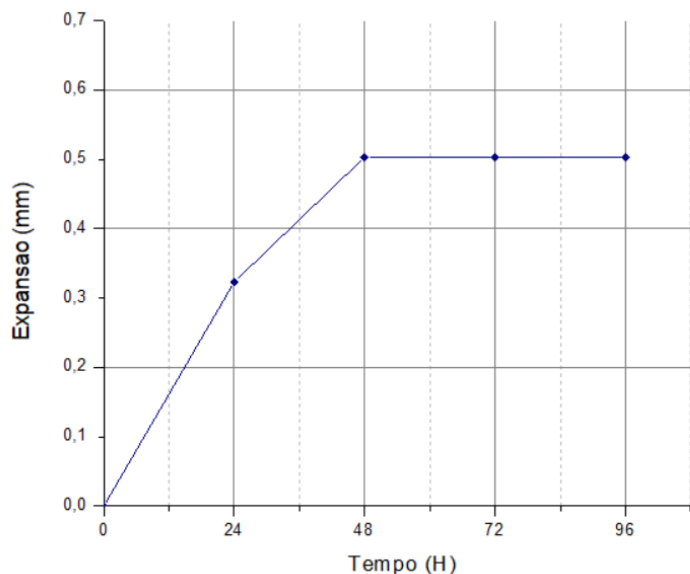
Já os valores do Índice do Suporte Califórnia (CBR) e Expansão do traço B estão apresentados nos Figuras 11 e 12 onde os valores da tensão e expansão é a média entre três valores obtidos em laboratório.

**Figura 11– Valores Pressão.**



Fonte: (Autor, 2019).

**Figura 12–** Valores Expansão.



Fonte: (Autor, 2019).

**Tabela 03 –** Resultados Expansão e CBR.

Resultados Expansão (%)	Média Expansão (%)	Resultados CBR (%)	Média CBR (%)
0,48	0,44	140,21	137,66
0,43		139,69	
0,41		133,09	

Fonte: (Autor, 2019).

A partir dos resultados obtidos pela Tabela 03, pode-se concluir que tanto a expansão quanto CBR estão atendendo os requisitos pré-definidos pela norma (ver Quadro – 4).

Sousa (2011) realizou o mesmo ensaio com Agregado Reciclado de Concreto (ARC), no qual os usou a porcentagem de 70% de agregado reciclado e 30% de solo, o resultado obtido pode ser observado na tabela 04.

**Tabela 04 –** Resultados CBR para amostra de ARC.

Resultado CBR (%)	Media CBR (%)
77	93
110	

Fonte: (Sousa, 2011).

## 4 CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos por esse estudo, pode-se concluir que as características do traço A foram melhoradas com a substituição da pedra e pedrisco pelo RCC1 e RCC2 sendo que o resultado do CBR teve um aumento de 274,33%, além de se enquadrar em outras especificações sugeridas. Sendo assim, o estudo realizado apresentou um ótimo resultado quando utilizado o traço B, comprovando assim que ele pode ser usado como estabilização de um solo para a utilização em base e sub-base de pavimento asfálticos.

## 4 REFERÊNCIAS

ANTOCHEVES, Rogério; PIEREZAN, Jerônimo. **Reaproveitamento do Entulho da Construção Civil**. Notas de aula na disciplina de Construção Civil II – Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004 – Resíduos sólidos** – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 6457- Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 6459- Solo- Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180- Solo- Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181- Solo- Analise granulométrica por peneiramento**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7182- Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 9895- Solo- Índice de suporte Califórnia (ISC)- Método de ensaio**, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 15115- Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação** – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIACAO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESIDUO DA CONSTRUCAO CIVIL E DEMOLICAO-ABRECON: **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**, São Paulo, 2015.

BERNUCCI, L., CERATTI, J., SOARES, J., & MOTTA, L. **PAVIMENTAÇÃO ASFALTICA: formação básica para engenheiros**. Cap. 7. – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BRASIL. Lei nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, DF, agosto de 2010.

- CARNEIRO, Alex P. et al. **Reciclagem de Entulho para a produção de materiais de construção**: Projeto Entulho Bom – Salvador: Editora UFBA, 142-186, 2001.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Destinação final de Resíduos da Construção Civil**. Resolução nº307, de 05 de julho de 2002.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. PUBLICAÇÃO IPR – 179**. Ministério dos transportes. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias, 2006.
- GOURLARTE, Cristina Lemos; PEDREIRA, Celso Luis Da Silva. **Estabilização química de solo com adição de cimento ou cal como alternativa de pavimento**. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, Rio Grande, 2009. Disponível em: <https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/geors2009/2009-goularte-pedreira.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2019
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Summary for Policymakers**. Fourth Assessment Report, Working Group III. Genebra, Suíça, 2007. Disponível em: [http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/docs/FAR/Approved%20SPM%20WGIII\\_0705rev5.pdf](http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/docs/FAR/Approved%20SPM%20WGIII_0705rev5.pdf). Acesso em: 25 de abril. 2019.
- LEITE, Suellen Rodrigues da Paixão. **Estudos das práticas de gerenciamento de resíduos na construção civil do Rio de Janeiro**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
- MARKO, Rafael. **Siduscon: PIB da construção deverá crescer 2% em 2019**. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/release/sinduscon-sp-pib-da-construcao-deveracrescer-2-em-2019/>, Acesso em 26 de março 2019.
- FIGUEIRÊDO, Patricia. **Siduscon: Construção Civil representa 6,2% do PIB do Brasil**. Disponível em: [https://www.sinduscondf.org.br/portal/noticia/1926/construcao-civil-representa-6,2\\*-do-pib-brasil](https://www.sinduscondf.org.br/portal/noticia/1926/construcao-civil-representa-6,2*-do-pib-brasil), Acesso em 24 de março 2019.
- MARQUES NETO, José da Costa. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: Rima, 2005.
- MARQUES, Geraldo Luciano De Oliveira; **Pavimentação, TRN 075**. Notas de aula da disciplina. Juiz De Fora, 2018.
- MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- OMIDO, Agleison Ramos; BARBOZA, Christian Souza; ZIMMER, Arthur Silva; ADURES, Luiz Antônio Kerber; SILVA, Luiz Henrique dos Santos. **Estudos para aproveitamento de resíduos de construção civil na execução de camadas de pavimentação**. Congresso Sul Americano de Resíduos Sólidos e sustentabilidade, Gramado, 2018. Anais.
- PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 3ª Edição**. Oficina de textos. São Paulo, 2006.
- Prefeitura Municipal de São Paulo/SP. ETS-001: **Camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil**. Secretaria de Infraestrutura Urbana, Especificação Técnica de Serviço. São Paulo, 2003.
- SOUSA, Wallace Fioravanti de. **Estudo sobre a aplicação de agregado reciclado de concreto em construção de pavimentos**. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, 2011.