



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**Faculdade de Engenharia**  
**Engenharia Civil - FAEN**

**TASSYANE DE OLIVEIRA**  
**MANCOELHO**

**AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA**  
**COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS PARA REFORÇO DE SUBLEITO DE**  
**PAVIMENTOS**

**Dourados - MS**  
**2022**

**TASSYANE DE OLIVEIRA MANCOELHO**

**AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA  
COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS PARA REFORÇO DE SUBLEITO  
DE PAVIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof<sup>o</sup> Guilherme Peres dos Santos com área de concentração 3.01.00.00-3 – Engenharia Civil.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ANEXO H – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Às 11:00 horas do dia 27 de outubro de 2022, realizou-se no(a) Sala de reuniões da Faculdade de Engenharia (FAEN) (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, intitulado Avaliação de resíduos da construção civil na composição de materiais para reforço de autoria do(a) discente Tassiane de Oliveira Mancuelho, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II.

Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

Aprovado

Reprovado

O(A) discente(a) declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Civil da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente(a) para a elaboração da versão final.

**OBSERVAÇÕES ADICIONAIS**

**DISCENTE**

Nome: Tassiane L.O. Mancuelho Assinatura: Tassiane Mancuelho

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador: Guilherme Peres dos Santos Assinatura: Guilherme Peres dos Santos

Membro: Agleison R. Onido Assinatura: Agleison R. Onido

Membro: LEONARDO DA R. WALT Assinatura: Leonardo da R. Walt

## **AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS PARA REFORÇO DE SUBLEITO DE PAVIMENTOS**

Tassyane de Oliveira Mancoelho<sup>1</sup>; Guilherme Peres dos Santos<sup>2</sup>;  
tassyanemancoelho@outlook.com<sup>1</sup>; guilhermesantos@ufgd.edu.br<sup>2</sup>;

### **RESUMO**

A construção civil é um dos setores que mais gera resíduos e que mais consome matérias-primas não renováveis. Buscando uma solução sustentável para esse problema, propõe-se o uso de resíduos de construção e demolição (RCD) nas camadas de pavimentos flexíveis, substituindo materiais naturais por RCD. Este trabalho foi desenvolvido a partir de testes laboratoriais de ensaio de granulometria, compactação e Índice de Suporte Califórnia com intuito de encontrar valores aceitáveis de acordo com as normas de pavimentação e agregados reciclados. Foram realizados ensaios com misturas de solo-RCD de diferentes proporções, no qual realizou-se análises de características físicas e resistência à penetração. A partir dos ensaios, verificou-se que o solo e RCD estudado apresentaram características físicas mal graduadas e uniformes, obtendo um valor de ISC ruim. Assim, analisados os resultados, os materiais utilizados demonstraram não estarem aptos para o uso em reforço de subleito de pavimentos. Para trabalhos futuros, é recomendado utilizar teores maiores de RCD e ensaios de: resistência ao desgaste, absorção e de caracterização do comportamento mecânico: resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral e módulo de resiliência.

**Palavras-chave:** Pavimentação; agregados reciclados; sustentável.

### **ABSTRACT**

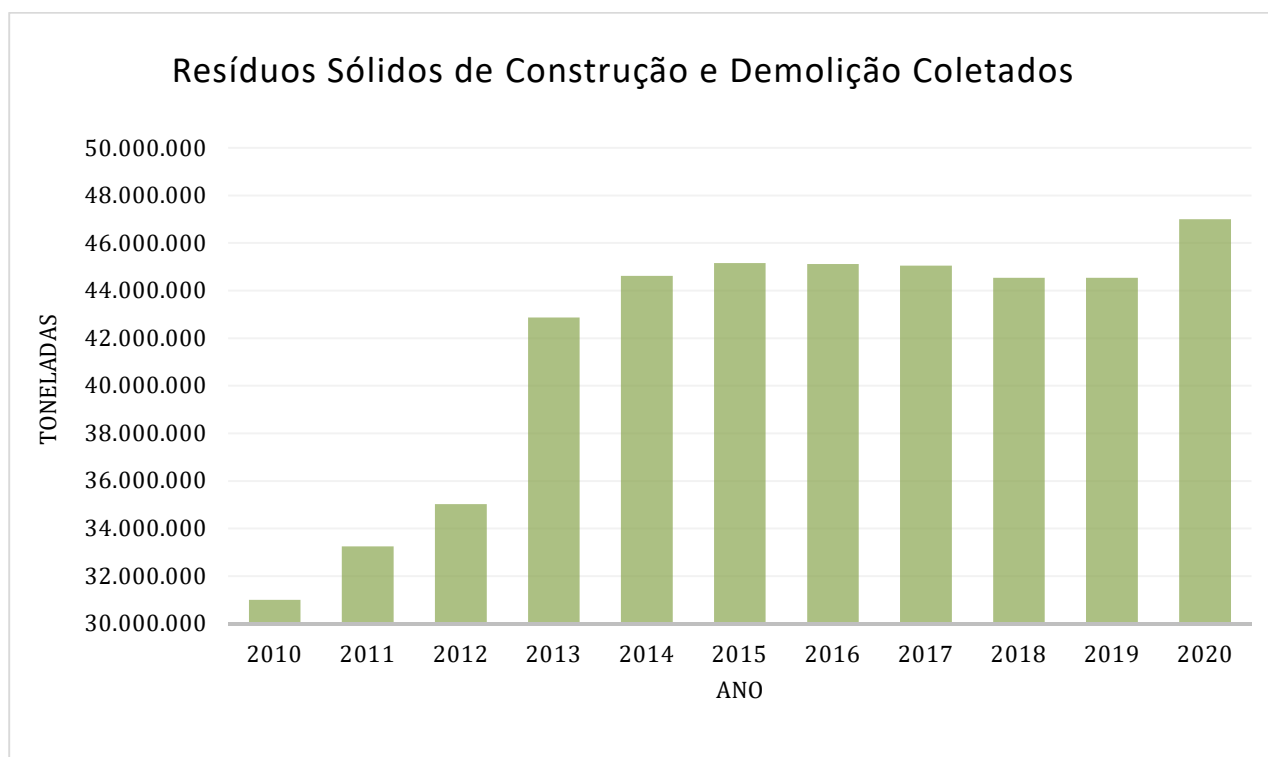
**Keywords:** Paving; recycled aggregates; sustainable.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de construção civil tem se mostrado uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, e vem se expandindo cada vez mais devido ao aumento da população. Por outro lado, porta-se como grande gerador de impactos ambientais, sendo pela geração de resíduos, modificação da paisagem ou pela extração de recursos naturais. (SILVA *et al.*, 2010).

Segundo a ABRELPE (2021), Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, em 2020, o número de resíduos de construção e demolição (RCD) coletados foram de 47 milhões de toneladas, com um acréscimo superior a 15 milhões em relação à 2010.

Figura 01 – Aumento na geração de RCD nos últimos 10 anos.



Fonte: ABRELPE (2021)

A partir da Figura 01, podemos observar o aumento na geração de resíduos de construção e demolição nos últimos 10 anos.

## 1.1 Classificação do material RCD

De acordo com a NBR 10004 (2004), os resíduos sólidos de construção e demolição são classificados como: Classe II-B – Inertes – e a norma os define como:

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Como exemplo destes materiais, podem-se citar rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

Com objetivo de facilitar as práticas de reaproveitamento e reciclagem, a Resolução do CONAMA n. 307 de 2002, (Conselho Nacional do Meio Ambiente) classifica os chamados resíduos da construção civil que podem ser utilizados como agregado como:

- a) Classe A: é formada pelos seguintes resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados:
  - de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação, de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
  - de reformas, reparos, demolição e construção: componentes cerâmicos (blocos, telhas, tijolos, placas de revestimento etc.) argamassa e concreto;
  - de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) desenvolvidas nos canteiros de obras;
- b) Classe B: é formada por resíduos que tem a possibilidade de reciclagem, como plásticos, papeis, papelões, metais, vidros, madeiras e outros;
- c) Classe C: é formada por resíduos que ainda não possuem reciclagem ou recuperação por meio de tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, como é o caso dos produtos procedentes do gesso;
- d) Classe D: é formada pelos resíduos perigosos que são gerados no processo construtivo das edificações, como tintas, solventes e óleos, ou, ainda pelos resíduos gerados através de demolições e reformas clínicas radiológicas e instalações industriais.

O setor da construção civil é responsável por grandes impactos ambientais, que estão desde a retirada de recursos naturais e energias utilizadas no transporte e produção de matéria-prima, até no andamento de diversificadas construções, inclusive após o término, gerando grande volume de resíduos devido a técnicas de construção muitas vezes artesanais, e empregadas por uma mão-de-obra desqualificada. (PIRES FRIGO; SILVEIRA, 2012). Ainda segundo os autores, a crescente geração de resíduos sólidos vem exigindo soluções de forma a diminuir os materiais descartados que, constantemente, acabam em locais inadequados, causando desconforto à sociedade.

Com a intenção de restringir a geração dos resíduos da construção civil, a Resolução CONAMA n. 307 de 2002, designa aos geradores visar, em primeiro lugar, a não geração de RCD, e posteriormente, a redução, reutilização, reciclagem e destinação adequada, logo, os resíduos não devem ser dispostos em aterros domiciliares, em áreas de “bota-fora”, lotes vagos e em áreas protegidas por lei. Diante disso, a reciclagem de resíduos de construção e demolição está sendo uma das alternativas que promove práticas sustentáveis e redução de custos, diminuindo a utilização de matéria-prima *in natura* e áreas destinadas a aterros sanitários (MOTA, 2014).

De acordo a Resolução CONAMA n. 307 de 2002, a triagem deve ser realizada, preferencialmente pelo gerador na origem, ou em áreas licenciadas para essa finalidade. A separação deverá ser realizada ao fim de um dia de trabalho, com a intenção de assegurar a qualidade do resíduo, evitando contaminações e deverão conter locais de armazenamento separados para cada resíduo, sinalizados, para que a tarefa se torne corriqueira. (LIMA; LIMA, 2009)

## **1.2 Agregados reciclados aplicados à pavimentação**

Como forma de incentivar e regulamentar o emprego de agregado reciclado em pavimentação, em 2004 foi elaborado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a NBR 15115, que tem como título “*Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos*” (ABNT, 2004). Esta norma estabelece critérios para a execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, apresentados na Tabela 01.

Tabela 01 – Agregados reciclados de resíduos da construção civil.

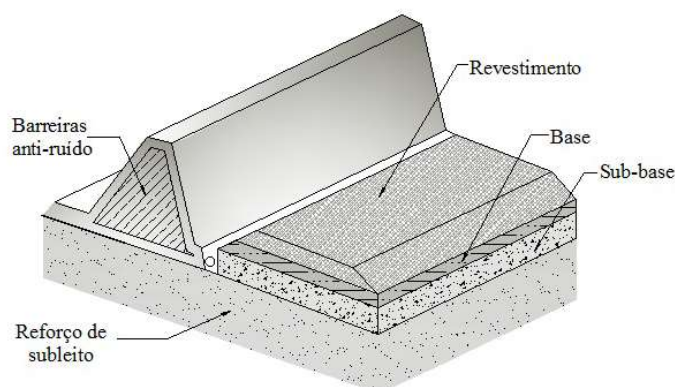
Classificação	Granulometria	Materiais indesejáveis	Camada	Energia de compactação	Índice de Suporte Califórnia	Expansão
Classe A CONAMA (2002)	Bem graduado, não uniforme. Cu $\geq$ 10 (Cu = D60 / D10)	Grupos distintos: 3% em massa Mesmo grupo: 2% em massa Não são permitidos materiais nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.	Reforço de subleito	Normal	$\geq$ 12%	$\leq$ 1,0%
	Passante ne peneira 0,42 mm: 10% a 40%		Sub-base	Intermediária	$\geq$ 20%	$\leq$ 1,0%
	Dimensão máxima: 63,5 mm		Base	Intermediária	$\geq$ 60%	$\leq$ 0,5%

Fonte: ABNT (2004)

Segundo Bernucci *et al.* (2008) os resíduos sólidos de construção e demolição tem crescido em pavimentações, e vêm sendo utilizados como agregados em reforços de subleito ou sub-bases, desde que atendam as especificações da NBR 15115 (2004). Zordan (1997) também concluiu que peças para drenagem superficial de estradas, guias e blocos para calçamento e blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural podem ser produzidos em concreto com agregados reciclados, após realizar ensaios de resistência à compressão, abrasão e permeabilidade.

Para Petkovic *et al.* (2004), estruturas como: drenagens superficiais, revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, podem ser construídas com agregados reciclados. Na Figura 02, exemplifica cada uma das estruturas citadas.

Figura 02 – Uso de materiais reciclados em pavimentação.



Fonte: Petkovic *et al.* (2004)



Quadro 01 – Agregados reciclados aplicados à pavimentação.

Autores	Objeto de estudo	Resultados
O'MAHONY E MILLIGAN (1991)	As análises de Índice de Suporte Califórnia, foram realizadas em resíduos de concreto e alvenaria, com intuito da utilização em camadas de sub-base.	Por meio de ensaios, os resíduos de concreto, demonstraram comportamento próximo ao da brita calcária, que foi utilizada de amostra comparativa. Por outro lado, os resíduos de alvenaria, tiveram desempenho de suporte menor. No entanto, as amostras analisadas obtiveram resultados de ISC superiores a 30%, limite estabelecido pelo Reino Unido, para utilização em sub-base.
POON e CHAN (2006)	Em um estudo realizado em Hong Kong, analisaram agregados reciclados de concreto e mistos, com intuito da utilização em sub-bases de pavimentos.	Os agregados reciclados de concreto apresentaram umidade ótima maiores e peso específico aparente seco menores, comparados com brita graduada simples, e Índice de Suporte Califórnia maiores que agregados reciclados mistos. Foram realizados ensaios de ISC com e sem imersão, e ambos não manifestam diferenças significativas.
BODI <i>et al.</i> (1995; apud MOTTA, 2005)	A pesquisa inclui análise de três tipos de agregados reciclados de São Paulo: branco, vermelho e misto	Utilizando agregado misto com solo siltoso e argiloso, foram realizados ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia, no qual apresentaram resultados adequados. Os autores trouxeram ainda, a primeira via de São Paulo, pavimentada em 1984, empregando resíduos reciclados nas camadas de subleito e sub-base, que na época foi considerado elevadamente satisfatório.
HORTEGAL <i>et al.</i> (2009)	Em São Luís, os autores utilizaram misturas de solo-RCD, com proporções de: 70% e 30% na mistura 1, 50% e 50% na mistura 2 e 30% e 70% na mistura 3, respectivamente.	Foram realizados ensaios de compactação, granulometria e Índice de Suporte Califórnia. As características físicas encontradas do solo-RCD apresentaram uma boa graduação e continuidade média para as misturas 1 e 2, e a mistura 3 demonstrou desuniformidade e uma boa graduação. Os resultados de ISC atenderam a norma NBR 15115 (2004), e as misturas 1 e 2 poderiam ser utilizadas em sub-base e a mistura 3 em reforço de subleito.
JIMÉNEZ (2011)	Foram realizados ensaios utilizando amostras de RCD, decorrente da demolição do estádio Mané Garrincha, a fim de utilizá-los em bases de pavimentos.	A partir de ensaios de caracterização, concluiu-se que os resíduos utilizados são classificados como agregado de concreto (ARC) e os valores de ISC obtidos superaram os limites da norma NBR 15115 (2004). Ensaios de módulo de resiliência, resistência ao cisalhamento rápido e a compressão simples, também tiveram resultados positivos, assim, podendo ser utilizado como agregado nas bases de pavimentação.

Fonte: Autora (2022).

### 1.3 Objetivo e Justificativa

Com o intuito de tornar a construção civil mais sustentável, a aplicação do RCD como agregado contribui com a redução de acúmulo de resíduos gerados pelo setor, além da diminuição de uso de matérias-primas in natura para a pavimentação.

Este trabalho teve como objetivo investigar o desempenho do uso de RCD na camada de reforço de subleito da pavimentação flexível em meios urbanos com baixo volume de tráfego, realizando testes de ensaio de granulometria, compactação e Índice de Suporte Califórnia.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia para a realização dos ensaios foi aplicada de modo a conhecer as propriedades físicas e algumas propriedades mecânicas do agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil proveniente da usina de reciclagem de Dourados – MS, por meio de ensaios aplicados em pesquisas relacionadas aos materiais convencionais de pavimentação.

Para a execução do ensaio de Índice de Suporte Califórnia foram realizados 4 tipos de misturas entre solo e RCD, apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 – Misturas solo-RCD

Mistura	Composição	
	Solo (%)	RCD (%)
1	100	0
2	90	10
3	80	20
4	70	30

Fonte: Autora (2022).

### 2.1 Coleta de agregado reciclado

Para os ensaios laboratoriais foram coletados agregados reciclados na usina de reciclagem de Dourados – MS. Os resíduos de construção e demolição utilizado pela usina para reciclagem são fornecidos por empresas de construção civil, que ao invés de descartarem os materiais em aterros ou contratarem empresas responsáveis por sua coleta, transportam o material até a usina na qual é reciclado.

A empresa conta com um maquinário específico para triturar os resíduos recebidos e realizar a triagem do material, separando as partículas de acordo com sua granulometria após sua britagem. As partículas finas possuem aspectos de areia e são

utilizadas para a fabricação de novos blocos de concreto, e as partículas grossas são empregadas em concreto com baixa função estrutural, substituindo o agregado natural.

## 2.2 Distribuição Granulométrica

Para o ensaio de granulometria, foi utilizado uma amostra de 8 kg de RCD britado e 1,5 kg de solo, conforme prescreve a norma “Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização”, NBR 6457 (2016). O ensaio foi feito por meio do peneiramento conforme a NBR 7181 (2016), com intenção de obter as características físicas do mesmo. Os resultados devem atender aos seguintes critérios da NBR 15115 (2004) apresentados na Tabela 03.

Tabela 03 – Valores de granulométrica da NBR 15115 (2004)

<b>Dimensão característica máxima dos grãos (mm)</b>	<b>Porcentagem que passa na peneira 0,42mm (%)</b>	<b>C<sub>u</sub></b>	<b>C<sub>c</sub></b>
63,5	$10 \leq a \leq 40$	$\geq 10$	não consta

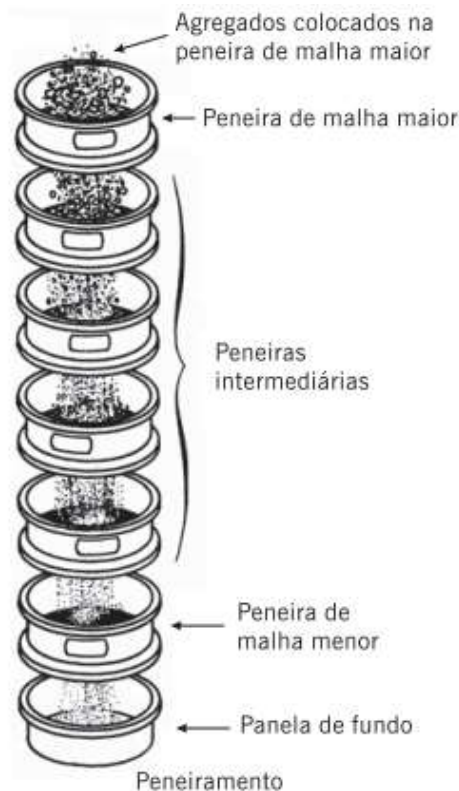
Fonte: ABNT, (2004)

Os aparelhos utilizados para o procedimento, foram:

- 12 peneiras com malhas de: 50 38; 25; 19; 9,5 e 4,8mm, para o peneiramento grosso, e 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15; e 0,075 mm, para o peneiramento fino, de acordo com a NBR 5734;
  - Agitador mecânico de peneiras;
- balanças que permitiram pesar 200 g, 1,5 kg, 5 kg e 10 kg com resolução de 0,01 g, 0,1 g, 0,5 g;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 60°C e 65°C e entre 105°C e 110°C;

As peneiras são de aberturas características que representam um diâmetro equivalente ao dos grãos, na Figura 03 é apresentado como o conjunto foi montado.

Figura 03 – Peneiramento.



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Com a amostra separada e em umidade higroscópica, realizamos os seguintes passos:

- Pesamos as peneiras e anotamos seus devidos valores;
- Os conjuntos de peneiramento grosso e fino foram montados conforme a Figura 04;
- Inserimos a amostra no conjunto de peneiras grosso, e anexamos ao agitador mecânico, onde ficou ligado por cerca de 10 minutos;
- Após 10 minutos, todas as peneiras foram pesadas com o material retido em cada, e seus valores anotados;
- O material passante por todas as peneiras foi inserido no conjunto de peneiras finas, e novamente anexado ao agitador mecânico, onde ficaram por cerca de 10 minutos;
- Após 10 minutos, as peneiras foram pesadas, e valores anotados;
- Após todos os valores anotados, realizamos os cálculos e obtivemos o peso de porção da amostra passante nas peneiras, assim traçamos uma curva granulométrica.

A partir da curva granulométrica é possível definir os coeficientes que apresentam as características do solo, sendo de uniformidade e de curvatura, quanto maior é o coeficiente de uniformidade, mais bem graduado é o solo, sendo um solo bem-graduado, em geral, que expressa existência de grãos com diversos diâmetros, onde as partículas menores ocupam os vazios equivalentes às maiores, no qual resulta em uma menor compressibilidade e maior resistência. O coeficiente de curvatura identifica eventuais discontinuidades ou concentração muito elevada de grãos mais grossos, assim, para um solo bem graduado considera-se o coeficiente de curvatura entre 1 e 3. (PINTO, 2006).

### 2.3 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) teve como objetivo definir o valor de suporte dos materiais empregados em pavimentação, porém, este ensaio não deve ser o único utilizado para prever o comportamento dos solos e agregados (MOTTA, 2005) e define valores de expansão que o solo apresenta, a partir de sua imersão. Os resultados devem atender aos seguintes critérios da NBR 15115 (2004) apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 – Valores do CBR e expansão da norma NBR 15115, (2004).

<b>Tipo de Camada</b>	<b>ISC (%)</b>	<b>Expansão (%)</b>	<b>Energia Proctor de Compactação</b>
Reforço do Subleito	≥ 12	≤ 1,0	Normal ou Superior
Sub-base	≥ 20	≤ 1,0	Intermediária
Base*	≥ 60	≤ 0,5	Intermediária

\*Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com  
N ≤ 10<sup>6</sup> repetições do eixo-padrão de 80kN no período de projeto;

Fonte: ABNT, (2004)

O ensaio foi realizado conforme a NBR 9598 (1987) – Índice de Suporte Califórnia. Os aparelhos utilizados para o procedimento foram:

- Balanças que permitiram pesar 20 kg, 1500 g e 200 g com resolução de 1 g, 0,1 g, 0,01 g, respectivamente;
- Peneiras de 19 a 4,8 mm de acordo com a NBR 5734;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre (105 e 110) °C;
- Cápsulas metálicas com tampa;
- Espátula;
- Cilindro com 178 mm de altura e 151,7 mm de diâmetro;

- Soquete com massa de  $(4536 \pm 10)$  g e altura de queda de  $(457 \pm 2)$  mm;
- Prato perfurado de bronze;
- Disco espaçador de 61,5 mm;
- Porta-extensômetro e extensômetro com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01 mm;
- Disco anelar de aço para sobrecarga, dividido diametralmente em duas partes, com  $(2270 \pm 2)$  g de massa total;
- Prensa composta por: macaco de engrenagem com operação manual e conjunto dinamométrico com capacidade de 19,16 N/micron com extensômetro fixado ao centro. Conjunto apresentado na Figura 05;
- Extrator de corpo-de-prova;
- Tanque ou recipiente com capacidade tal que permita imersão total do corpo-de-prova;
- Papel filtro circular;
- Desempenadeira de madeira;
- Proveta de vidro.

Figura 04 – Prensa CBR.



Fonte: BIOPDI (2022)

Para a moldagem dos corpos-de-prova, foi fixado o molde cilíndrico a sua base e inserido o disco espaçador com um filtro de papel, para evitar a aderência do solo compactado a sua superfície metálica. Em uma bandeja, com a amostra já homogeneizada, foi adicionado água gradativamente com auxílio de uma proveta de vidro, a fim de obter o teor de umidade em torno de 5 pontos percentuais de umidade ótima presumível.

Com a amostra totalmente homogeneizada, realizamos os seguintes passos:

- Para cada camada, inserimos aproximadamente 1 kg da amostra no cilindro;
- Utilizamos a energia normal para compactação, de 12 golpes, distribuídos uniformemente;
- Cada camada foi procedida de uma ligeira escarificação da camada subjacente;
- Retiramos uma porção da bandeja e inserimos em estufa imediatamente após compactação da segunda camada, a fim de obter a umidade do solo;
- Após a quinta camada compactada, retiramos o cilindro complementar e com ajuda de uma espátula, rasamos o solo em excesso e pesamos o cilindro com o solo compactado;
- Inserimos o a haste com o prato perfurado, as sobrecargas, o cilindro complementar, o porta-extensômetro e o extensômetro;
- Com o conjunto todo montado, colocamos em recipiente com água, onde deixamos por 96 horas e realizamos a leitura do extensômetro a cada 24 horas, para obtermos a expansão da amostra.

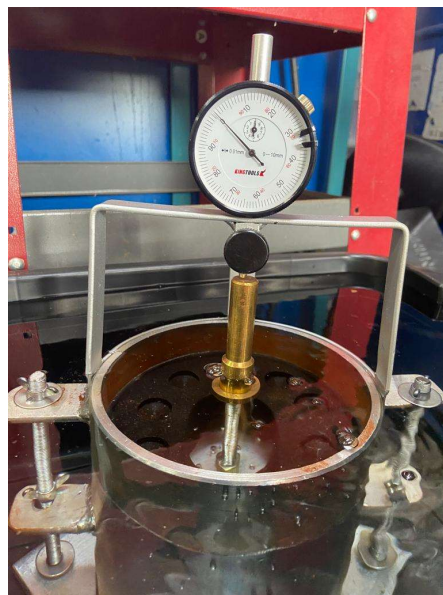
O processo foi repetido para os outros corpos-de-prova para teores crescentes de umidade.

Figura 05 – Amostra solo-RCD.



Fonte: Autora (2022).

Figura 06 – Corpos-de-prova em imersão.



Fonte: Autora (2022).

Após 96 horas, os corpos-de-prova foram submetidos a penetração por meio de uma prensa, para obtenção da resistência a penetração do solo, com um pistão de 46,9 mm de diâmetro, a uma velocidade de penetração de 1,27 milímetros por minuto. As leituras foram feitas de acordo com os tempos estabelecidos na NBR 9895 (1987) e com os resultados, obtivemos um gráfico, onde a pressão (MPa) exercida no corpo-de-prova encontra-se no eixo das abscissas e a penetração (mm) no eixo das ordenadas.

Figura 07 – Corpo-de-prova submetido à prensa.



Fonte: Autora (2022).

Figura 08 – Corpo-de-prova após ser submetido à prensa.



Fonte: Autora (2022).

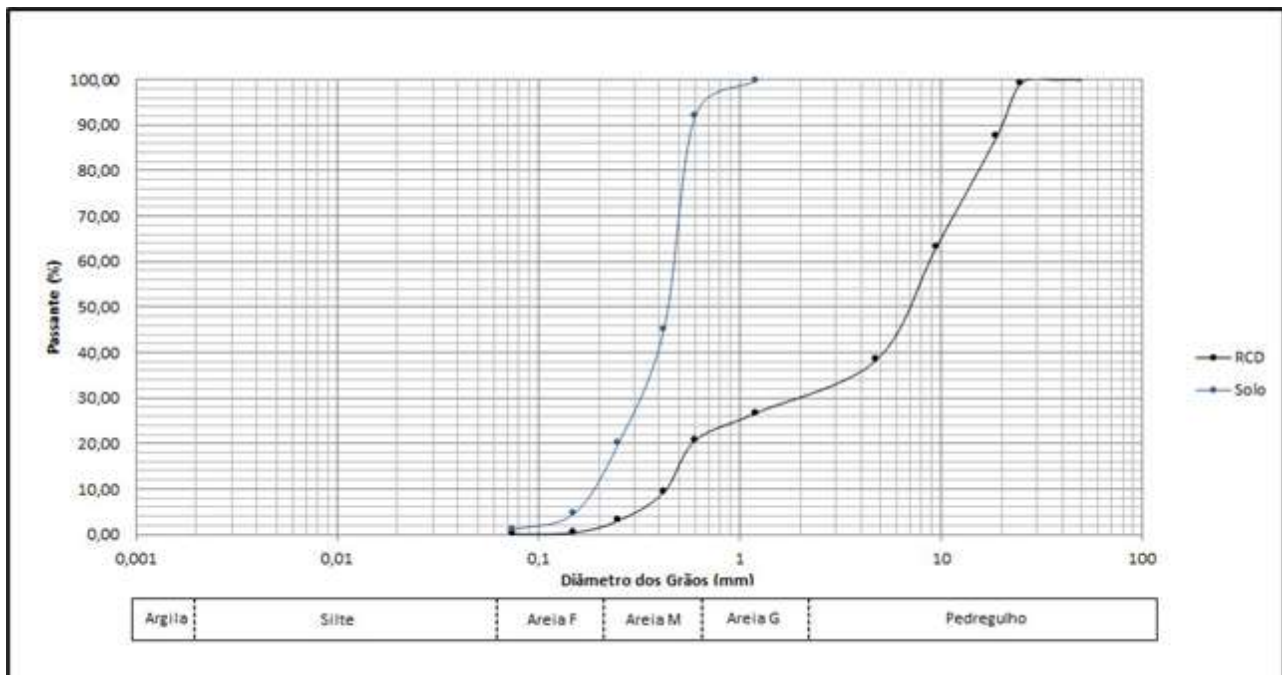


### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Distribuição granulométrica do RCD

A partir da curva granulométrica apresentada na Figura 10, foi possível observar que o RCD tem característica física bem graduada e não uniforme, apresenta um coeficiente de uniformidade  $C_u = 21,2$  e um coeficiente de curvatura  $C_c = 1,07$ , a porcentagem de material que passa na peneira n° 40 (0,42 mm) é 10,04%, e está de acordo com a Figura 10. O solo tem característica física mal graduado e uniforme, apresenta um coeficiente de uniformidade  $C_u = 2,67$  e um coeficiente de curvatura  $C_c = 1,12$ . Os agregados reciclados de resíduos de construção civil devem apresentar valores de coeficientes de uniformidade  $C_u \geq 10$  e uma porcentagem passante na peneira n° 40 (0,42 mm) entre 10% e 40%, assim, o RCD analisado atende os valores exigidos pela norma, sendo apropriado no uso de camadas de reforço de subleito.

Figura 09 – Curva granulométrica.



Fonte: Autora (2022).

A Tabela 05 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de granulometria em algumas pesquisas com diferentes tipos de agregados reciclados, e também os limites exigidos pela NBR 15115 (2004).

Tabela 05 – Limites fixados pela norma e resultados de outros autores com relação à granulometria.

Autor	Composição do agregado reciclado	Dimensão característica máxima dos grãos (mm)	Porcentagem que passa na peneira 0,42mm (%)	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>
NBR 15115 (ABNT, 2004)	Misto	63,5	10 ≤ a ≤ 40	≥ 10	não consta
Esta pesquisa	Misto	25	10,04	21,2	1,07
Hortegal <i>et al.</i> (2009)	Solo-RCD misto	63,5	Mistura 1 - 35 Mistura 2 - 55 Mistura 3 - 10	6,0 14,0 86,9	1,5 0,9 0,1
Jiménez (2011)	Concreto	25,4	16	49	3
Motta (2005)	Misto	63,5	10	42	não consta
Leite (2007)	Misto	50	21,2	53	0,3

Fonte: Autora (2022).

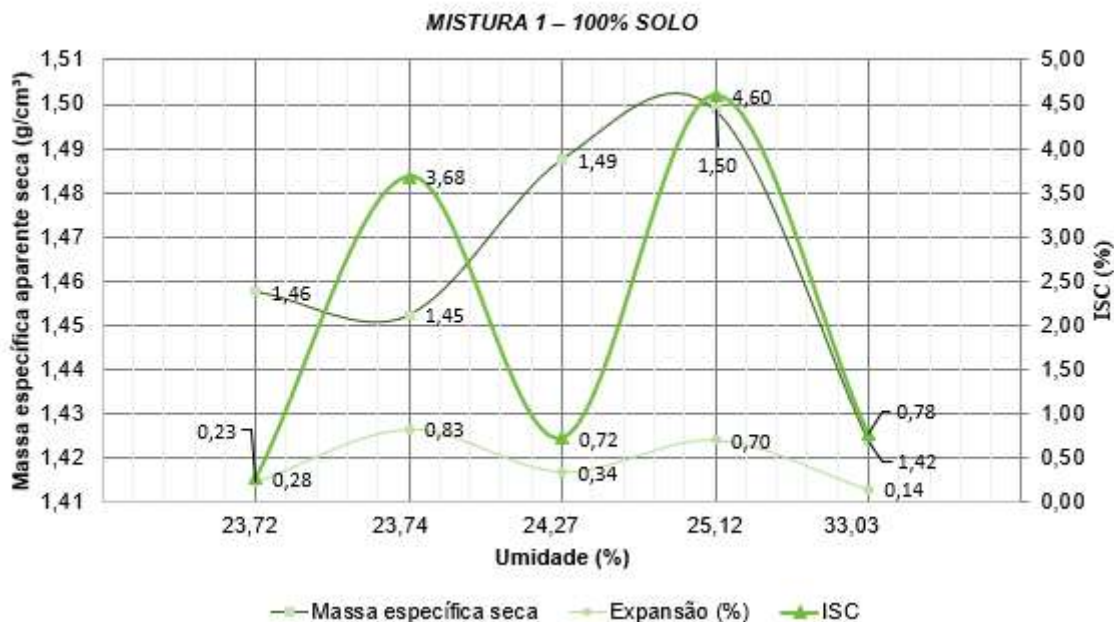
Conforme a Tabela 06, os autores Hortegal *et al.* (2009), Jiménez (2011), Motta (2005) e Leite (2007), atenderam a norma que descreve o uso de agregados reciclados de resíduos sólidos na pavimentação – NBR 15115 (2004). E a partir do ensaio de granulometria realizado, esta pesquisa também atendeu os critérios descritos na NBR 15115 (2004).

### 3.2 Índice de Suporte Califórnia

Após realizar as leituras do extensômetro do anel dinamométrico, os cálculos foram desempenhados conforme a NBR 9895 (1987), obtendo os valores de expansão e ISC. Os valores de umidade foram determinados de acordo com a norma NBR 6457 (1986), e a massa específica aparente seca conforme a NBR 7182 (1986), desse modo, foi possível

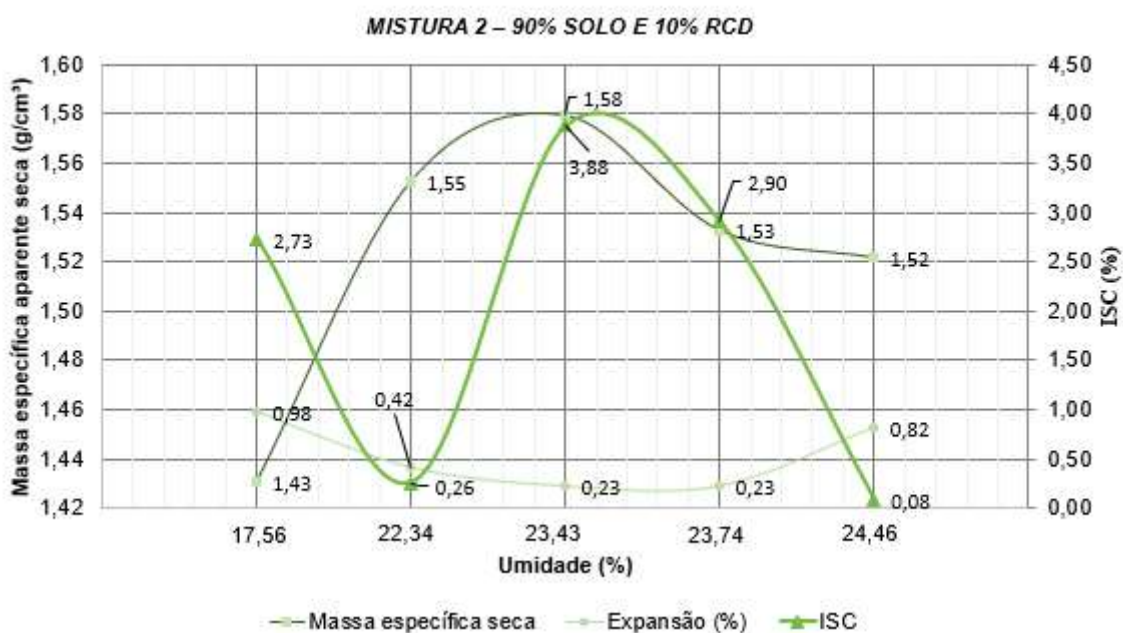
traçar uma curva e obter a umidade ótima. No mesmo gráfico foi traçado a curva de ISC, expansão e peso específico aparente apresentado na Figura 10, 11, 12 e 13.

Figura 10 – Gráfico de correlação entre os parâmetros massa específica aparente seca, CBR e expansão.



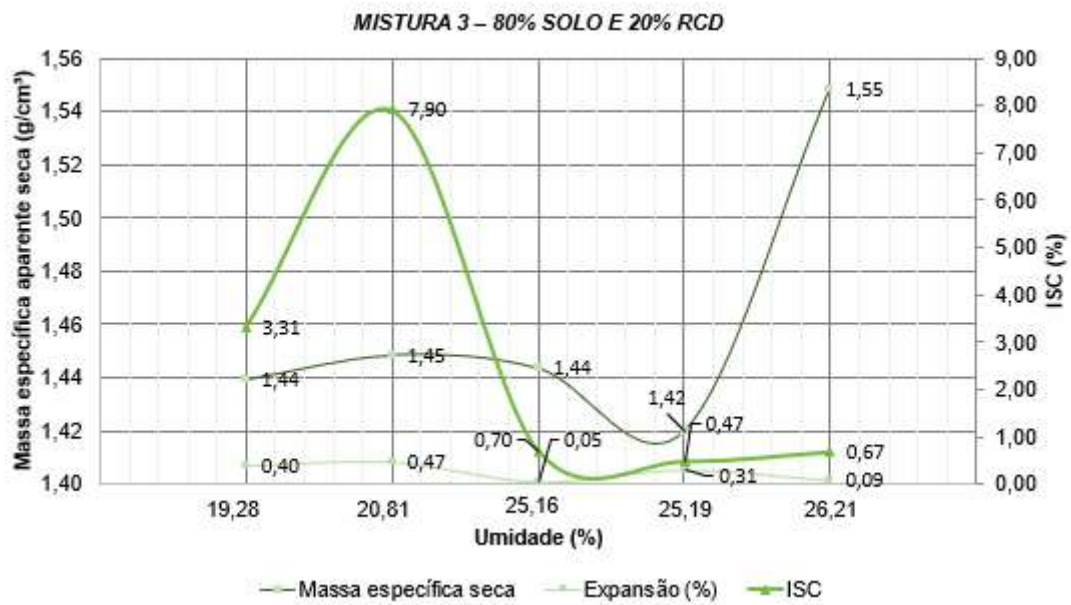
Fonte: Autora (2022).

Figura 11 – Gráfico de correlação entre os parâmetros massa específica aparente seca, CBR e expansão.



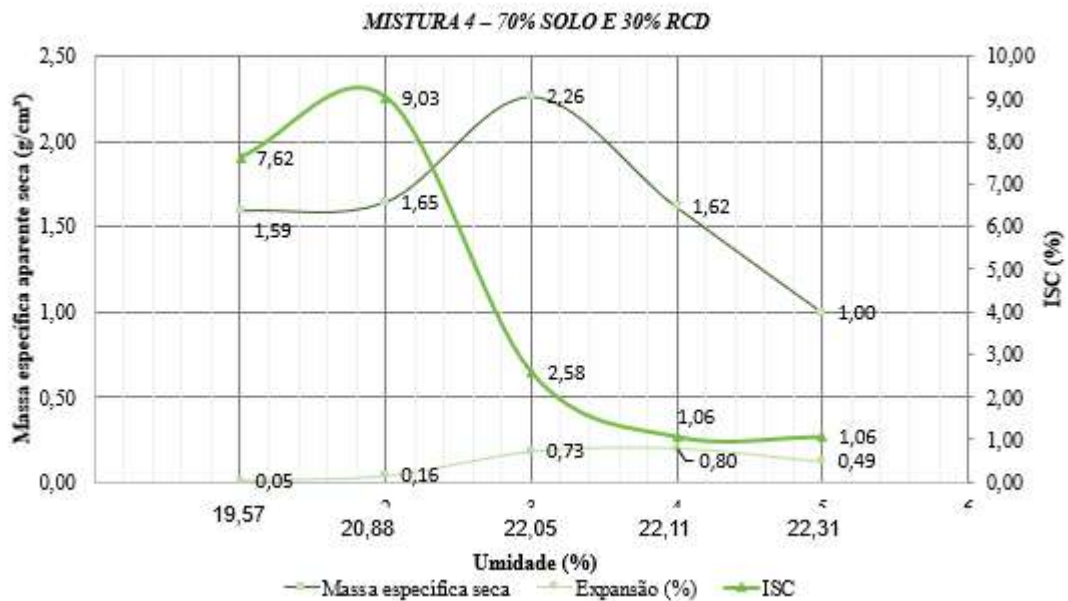
Fonte: Autora (2022).

Figura 12 – Gráfico de correlação entre os parâmetros massa específica aparente seca, CBR e expansão.



Fonte: Autora (2022).

Figura 13 – Gráfico de correlação entre os parâmetros massa específica aparente seca, CBR e expansão.



Fonte: Autora (2022).

A Tabela 06 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia em algumas pesquisas com diferentes tipos de agregados reciclados.

Tabela 06 – Resultados de outros autores com relação ao ISC.

Autor	Composição do agregado reciclado	Energia Proctor de compactação	Umidade ótima (%)	ISC (%)		
Esta pesquisa	Mistura 1	Normal	24,79	4,60		
	Mistura 2		23,03	3,88		
	Mistura 3		21,13	7,90		
	Mistura 4		21,71	9,03		
Hortegal <i>et al.</i> (2009)	Solo-RCD	Intermediária	7,6	13		
	RCD misto					
	Mistura 1				5,74	27
	Mistura 2				6,04	54
Jiménez (2011)	Concreto	Normal	13	47		
		Intermediária	13	113		
		Modificada	13	218		
Motta (2005)	Misto	Intermediária	não consta	75		
Leite (2007)	Misto	Modificada	14,6	117		
		Intermediária	13,5	73		

Fonte: Autora (2022).

Diante da Tabela 05, os autores Hortegal *et al.* (2009), Jiménez (2011), Motta (2005) e Leite (2007), atenderam a norma que descreve o uso de agregados reciclados de resíduos sólidos na pavimentação – NBR 15115 (2004). No entanto, o presente estudo não obteve resultados que atendessem a norma. Isso deve-se ao fato de que o solo utilizado apresentou características físicas muito uniformes, no qual as partículas são de tamanhos aproximadamente iguais, não existindo o preenchimento dos vazios com partículas menores. (PINTO, 2006).

Conforme os resultados obtidos, as misturas 3 e 4, apresentaram ISC mais elevados, se comparados com as outras, e umidade ótima mais baixas. Um solo com baixo teor de umidade apresenta atrito entre os grãos, dificultando sua compactação, diferente de um solo com um teor de umidade mais elevado, onde a água auxilia as partículas a se acomodarem de forma mais compacta. A partir da curva de compactação, é possível obter a umidade ótima para cada tipo de solo, e assim, identificar a massa específica aparente seca máxima, no qual quanto maior seu valor, menor é o volume de ar dos vazios no solo. (SILVA, 2022). Porém, ao retirar o cilindro complementar a amostra apresentou uma

superfície côncava, então, foram acrescentados volume de água mais elevado que a possível umidade ótima nas compactações subsequentes, assim, podemos deduzir que utilizando umidades mais baixas, os valores de ISC devem aumentar.

#### **4 CONCLUSÃO**

Conforme a construção civil cresce, a geração de resíduos a partir dela vem exigindo soluções que minimizem os impactos ambientais a partir do seu descarte. Após a publicação da resolução CONAMA (2002), os materiais classificados na Classe A, devem ser reutilizados como agregados reciclados, principalmente em pavimentos, pois utilizam grandes quantidades nas mais diversas granulometrias.

O material utilizado apresentou características mistas, ou seja, materiais de concreto, cerâmicas e pisos, e estão dentro dos limites impostos pela NBR 15115 (2004) sobre materiais indesejáveis, que se forem do mesmo grupo, máximo de 2% em massa, e de grupos distintos, máximo 3% em massa. Os ensaios realizados verificaram as características físicas do RCD, que mostrou ser um material desuniforme e bem graduado, já o solo apresentou ser muito uniforme, por conter partículas com tamanhos próximos ou iguais.

Verificou-se também o suporte para cada mistura de solo-RCD realizada, no qual misturas com teores maiores de RCD, obtiveram resultados mais elevados, mesmo que não tenham atendido a NBR 15115 (2004). Os resultados obtidos nessa pesquisa não atenderam as normas estabelecidas, mas forneceram informações importantes. Com a utilização de um solo ruim, de baixo ISC, é possível aumentar o suporte do solo utilizando RCD.

Para um próximo trabalho, é recomendado a utilização de teores de RCD maiores, e realizar ensaios de: resistência ao desgaste, absorção e de caracterização do comportamento mecânico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2020. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/> >. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2019. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2017. Disponível em:< [https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama\\_abrelpe\\_2017.pdf](https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf)>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2016. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2016/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2015. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2015/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2014. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2014/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2013. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2013/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2012. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2012/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2011. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2011/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública de resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2010. Disponível em:< <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2010/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11804**: Materiais para sub-base ou base de pavimentos estabilizados granulometricamente. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809**: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

BERNUCCI, L. D. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2008. 501 p., il

BIOPDI, 2022. **Prensa CBR**. Disponível em <<https://biopdi.com.br/ensaio-para-solos/prensa-cbr-prensa-marshall/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

BODI, J.; BRITO FILHO, J. A.; ALMEIDA, S. **Utilização de entulho de construção civil reciclado na pavimentação urbana**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., Cuiabá, 1995. Anais. Rio de Janeiro: ABPv, 1995

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 2002. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002**. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002\\_Res\\_CONAMA\\_307.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002_Res_CONAMA_307.pdf)>. Acesso em: 14 jul. 2022.

DNIT. **Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro. 2006.

FLIEGNER, A. N. A. P. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. 2015.

GRANICH, A. R. **Análise do desempenho de misturas asfálticas com adição de cal: Um estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2010.

HORTEGAL, M.V.; FERREIRA, T.C.; SANT'ANA, W.C. **Utilização de agregados resíduos sólidos da construção civil para pavimentação em São Luís – MA**. Projeto pesquisa em foco. Universidade Estadual do Maranhão. São Luiz/MA, 2009.



- JIMÉNEZ, A. M. G. **Estudo Experimental de um Resíduo de Construção e Demolição (RCD) para Utilização em Pavimentação**. 2011.
- LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**, v. 1, p. 60, 2009.
- MOTA, J. **A destinação dos resíduos sólidos da construção civil em Manaus: Do canteiro de obras ao destino final**. Universidade federal do Pará 2014.
- MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- O'MAHONY, M. M.; MILLIGAN, G. W. E. **Use of recycled material in subbase layers**. Transportation Research Record, Washington, n.1310, p.73-80, 1991.
- PETKOVIC, G., ENGELSEN, J. C., HAOYA, A. O., BREEDVELD, G. (2004). **Environmental impact from the use of recycled materials in road construction: method for decision-making in Norway**. Resources. Conservation and Recycling, 42: pp 248 – 264.
- PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos. 2006.
- PIRES FRIGO, J.; SILVEIRA, D. S. **Educação Ambiental E Construção Civil: Práticas De Gestão De Resíduos Em Foz Do Iguaçu-Pr**. Revista Monografias Ambientais, v. 9, n. 9, p. 1938–1952, 2012.
- POON, C. S.; CHAN, D. **Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base**. Construction and Building Materials, v.20, p.578-585, 2006. Disponível em:< <http://elsevier.com> >. Acesso em: 02 de ago. 2022
- SILVA, R. W. G. **Correlações para identificação prévia do teor de umidade ótimo de solos brasileiros**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- SILVA, W. M. *et al.* **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição e sua utilização como base, sub-base e mistura betuminosa em pavimento urbano em Goiânia-GO**. Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), n. 15, p. 1-9, 2010.
- ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas.