

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO KEI HASHIMOTO

**ESTUDO TÉCNICO DE AGREGADO RECICLÁVEL  
DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM PAVIMENTOS  
DE MÉDIO VOLUME DE TRÁFEGO**

CAMPO MOURÃO

2018

THIAGO KEI HASHIMOTO

**ESTUDO TÉCNICO DE AGREGADO RECICLÁVEL  
DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM PAVIMENTOS  
DE MÉDIO VOLUME DE TRÁFEGO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Esp. Paulo Henrique Rodrigues

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDO TÉCNICO DE AGREGADO RECICLÁVEL DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO EM PAVIMENTOS DE MÉDIO VOLUME DE TRÁFEGO**

por

**Thiago Kei Hashimoto**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14h e 30min do dia 28 de Junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof<sup>a</sup>. Me. Adalberto L. R. De Oliveira**

( UTFPR )

**Prof. Esp. Thiago T. Amaral de Oliveira**

( UTFPR )

**Prof. Esp. Paulo Henrique Rodrigues**

(UTFPR)

***Orientador***

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Ronaldo Rigobello**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Esp. Paulo Henrique Rodrigues, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala.

Ao técnico de laboratório Fábio, pela parceria e auxílio nos ensaios.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Aos amigos que fiz durante este longo período que me motivaram a continuar lutando e tornaram essa fase muito mais tranquilo.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

HASHIMOTO, Thiago Kei. **Estudo técnico de agregado reciclado de RCD em pavimento de médio volume de tráfego**. 2018. 36p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

A maior parte da destinação dos resíduos da construção civil são aterros sanitários. Estes últimos são gerados em grande volume e acabam causando problemas ao meio ambiente. A presente pesquisa teve seu estudo na utilização graduada dos resíduos de Construção e Demolição em camadas de sub-base e base de pavimentos de médio volume de tráfego, como forma de minimizar tais problemas. Com a realização de ensaios de compactação e CBR no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão, verificou-se menor umidade ótima e maior peso específico aparente seco máximo conforme o aumento de aplicação do resíduo na mistura. Verificou-se também que o índice CBR atingiu 29,49% com o teor de agregado reciclado de 50%. Os resultados obtidos no trabalho comprovaram a viabilidade técnica do uso de resíduo de construção e demolição na camada de base ou sub base de um pavimento de médio volume de tráfego.

**Palavras-chave:** Resíduos de construção e demolição. Agregado reciclado de concreto. Ensaio CBR. Pavimento.

## ABSTRACT

HASHIMOTO, Thiago Kei. **Technical study of recycled aggregate from construction and demolition waste in pavement of medium traffic volume.** 2018. 36p. Final Paper (Bachelor in Civil Engineer) - Federal Technology University - Parana. Campo Mourão, 2018.

Most part of the destination for civil constructions waste is the landfills. These materials are generated in large volume and end up causing environmental problems. The present research had its study on graduated use of Construction and Demolition Waste in sub-base and base layers of medium traffic volume pavement, as a way to minimize these problems. With the accomplishment of compaction and CBR test executed in laboratory from Federal Technology University of Paraná Campus Campo Mourão, it was verified a lesser optimum humidity and a bigger maximum specific apparent dry weight as the application of the residue in the mixture increased. It was also found that the CBR index reached 29,49% with the recycled aggregate content of 50%. The results obtained in this work prove the technical viability of the construction and demolition residue use in the base and sub-base layer in a medium traffic volume pavement

**Keywords:** Contruction and demolition waste. Concrete recycled aggregate. CBR test. Pavement.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Agregado de resíduo de construção e demolição. ....	21
Figura 2 - Extração do corpo de prova do proctor. ....	23
Figura 3 - Amostras coletadas para ensaio de umidade. ....	24
Figura 4 – Preparo da mistura para a moldagem do corpo de prova. ....	25
Figura 5 – Proctor imerso em água com relógio comparador. ....	26
Figura 6 – Gráfico do teor de umidade em relação ao peso específico seco das amostras com aplicação de RCD. ....	28
Figura 7 – Corpo de prova da mistura de 25% de RCD e 75% de Solo. ....	32
Figura 8 – Corpo de prova da mistura de 50% de RCD e 50% de Solo. ....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massas das amostras preparadas para o ensaio de compactação do solo. .....	22
Tabela 2- Umidade inicial das amostras. ....	23
Tabela 3 - Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade para mistura de 10% RCD e 90% Solo. ....	27
Tabela 4 – Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade para mistura de 25% RCD e 75% Solo. ....	27
Tabela 5 – Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade para mistura de 50% RCD e 50% Solo. ....	28
Tabela 6 – Pesos específicos aparentes secos máximos e teores de umidade ótima para as misturas. ....	29
Tabela 7 – Expansão das misturas no ensaio CBR. ....	29
Tabela 8 – Penetração e pressão do Solo. ....	30
Tabela 9 – Penetração e pressão da Mistura de 10% de RCD e 90% de Solo. ....	30
Tabela 10 – Penetração e pressão da Mistura de 25% de RCD e 75% de Solo. ....	31
Tabela 11 – Penetração e pressão da Mistura de 50% de RCD e 50% de Solo. ....	31
Tabela 12 – Índice de Suporte Califórnia das misturas. ....	32



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>13</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
4.1. GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	14
4.2 DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS .....	15
4.3. RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	17
4.4. PAVIMENTAÇÃO COM AGREGADO RECICLADO.....	18
<b>5 METODOLOGIA .....</b>	<b>21</b>
5.1 MATERIAIS.....	21
5.2 ENSAIOS .....	22
5.2.1. Ensaio de compactação do solo .....	22
5.2.1. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR) .....	24
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
6.1 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO .....	27
6.2 ENSAIO CBR.....	29
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao acelerado crescimento da construção civil, a geração de resíduos aumentou proporcionalmente, resultando em uma expansão dos centros urbanos e uma retração em áreas de paisagens naturais que poderiam ser preservadas com destinações mais adequadas, como a transformação dos materiais que atualmente são definidos culturalmente como bens não duráveis em um capital que ainda pode ser reutilizado.

Conforme dados da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (ABRECON, 2015), o Brasil recicla cerca de 20% dos resíduos de construção, enquanto na União Européia, países como a Holanda, Dinamarca e Alemanha possuem índices de reciclagem entre 50% e 90%.

Como uma possível solução para a questão da gestão de resíduos da construção no Brasil, foi publicada a Resolução CONAMA nº 307 no ano de 2002 que determina os parâmetros para reduzir os impactos ambientais provocados por estes materiais e estabeleceu a responsabilidade dos resíduos produzidos aos geradores, cujo o objetivo prioritário deve ser a não geração e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento de resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Para atender aos propósitos da Resolução, foram estipulados como disposição final, locais denominados aterros de resíduos da construção civil ou áreas de destinação de resíduos que armazenam os materiais de modo que seja possível sua utilização ou reciclagem futura. Entretanto essas medidas acabam tornando os comumente chamados entulhos de obras em um capital inerte, que mesmo após o descarte ainda possuem um potencial de reuso de forma a atender aos requisitos propostos para realização de obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários e outra obras de engenharia.

Segundo diversas pesquisas realizadas apresentam, o beneficiamento dos resíduos da construção civil como agregados reciclados possuem variadas vertentes aplicadas em obras, dentre elas, em construção de pavimentos que é responsável por permitir o emprego da principal via de transporte do país.

De acordo com dados da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2016), apenas 12,3% da malha rodoviária nacional é pavimentada, o que corresponde a

aproximadamente 213.380 km dos 1.720.000 km de rodovias existentes. Além disso a frota de veículos cresceu 110,4% enquanto a extensão das rodovias federais cresceu somente 11,7%, não acompanhando a expansão da quantidade de automóveis nos últimos dez anos, revelando uma carência no setor.

Devido a falta de rodovias pavimentadas, o uso do agregado reciclado proveniente de resíduo de construção pode receber mais relevância, sendo uma alternativa atraente aos materiais convencionalmente utilizados, e tornando-se mais significativo conforme for levado em consideração a questão dos impactos ambientais, econômicos e sociais.

A reutilização dos resíduos de construção e demolição em pavimentos se apresenta como uma forma preeminente para solucionar os problemas da disposição final destes últimos, que hodiernamente são, em sua maioria, encaminhados a aterros que ocupam áreas notáveis e acabam se transformando em um bem não durável.

Desta forma a presente pesquisa vem apresentar análises de viabilidade econômica e técnica do agregado reciclado a fim de esclarecer a pertinência do reuso dos resíduos de construção e demolição (RCD), que engloba uma forma de desenvolvimento sustentável sendo uma possível solução para passivo ambiental, reduzindo não somente o uso de matéria prima como também a poluição ambiental e visual, melhorando a qualidade de vida das atuais e futuras gerações.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho tem em vista analisar a viabilidade técnica de construção de pavimentos de medio volume de tráfego utilizando agregado reciclado oriundo de resíduo de construção e demolição (RCD) da cidade de Maringá nas camadas de base e sub-base.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o agregado natural e do RCD.
- Estudar a umidade ótima do solo puro e da mistura com RCD.
- Realizar ensaio de comportamento técnico e analisar as propriedades mecânicas do material coletado na usina de reciclagem de agregado;
- Analisar os resultados de amostras do agregado reciclado e do agregado mineral;

### 3 JUSTIFICATIVA

O estímulo da realização deste trabalho foi a necessidade de notoriedade da destinação final dos resíduos de construção e demolição, que por motivos culturais acabam se transformando em bens não duráveis, sendo estes aptos a serem reutilizados de forma adequada para novos exercícios construtivos, em especial no setor de pavimentação que ainda é deficiente no Brasil.

Identificando tal problema e considerando os impactos ambientais, econômicos e sociais apresentados pela má disposição dos últimos, a aplicação destes materiais como agregado em camadas de base e sub-base dos pavimentos mostra-se uma alternativa atraente, atendendo ao conceito da sustentabilidade e da logística reversa, que com um estudo de viabilidade econômica e mecânica da reutilização dos resíduos, é almejado instigar o interesse da sociedade em beneficiar o entulho de obra, buscando resultados que possam contribuir para o incentivo do reuso em obras administradas por órgãos públicos e privados.

O trabalho é baseado no levantamento de custos em empreendimentos que fornecem agregados minerais e reciclados para obras da construção civil e na realização de ensaios de Índice de Suporte California (CBR) determinada pela norma DNIT 172/2016.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O termo resíduo, originado do latim *residuu*, representa tudo aquilo que resta de algo. Este vocábulo passou a ser frequentemente utilizado no meio da engenharia sanitária, substituindo o termo lixo a partir da década de 1960 (MARQUES, 2005).

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são definidos como últimos nos estados sólidos e semi-sólidos, resultantes de atividades industriais, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Estes são classificados de acordo com seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, separados em dois grupos: classe I – Perigosos e classe II – Não perigosos. A classe II é dividida em dois subgrupos: classe II A – Não inertes e a classe II B – Inertes.

De acordo com Freitas (2009), os Resíduo Sólidos são subdivididos em Urbanos e Industriais, o qual:

- a) Resíduos Sólidos Urbanos são delineados como os resíduos derivados de domicílios, de serviço de saúde, construção e demolição e poda e capina;
- b) Resíduos Sólidos Industriais são aqueles provenientes da indústria de transformação, rejeitos radioativos e rejeitos agrícolas.

Os Resíduos de Construção e Demolição podem ser definidos como quaisquer tipos de resíduo proveniente de atividades do setor construtivo, sendo estes podendo ser originados de construções, reformas, reparos, demolições e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, incluindo materiais como: "plásticos, isolantes, vidros, tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeira, telhas, pavimento asfáltico, dentre outros. Sendo estes comumente denominados de entulhos de obras, caliça ou metralha" (ABNT, 2004).

Os resíduos da construção civil são classificados em quatro diferentes classes, A, B, C, D, segundo a resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), baseado no seu potencial de reciclagem ou reuso. A classe A são definidos como os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

componentes cerâmicos, argamassa e concreto. A classe B abrange os resíduos que são reciclados, porém para outras destinações, como papel, papelão, metal, vidros, madeiras, embalagens utilizadas de tintas imobiliárias e gesso. A classe C engloba resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação. Por fim a classe D que incorpora os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tendo como exemplo tintas, solventes, óleos e outros produtos nocivos à saúde.

A parcela dos resíduos de construção e demolição (RCD) de origem mineral é preponderante na caracterização do RCD, representando aproximadamente 90%, na relação m/m, no Brasil (Vi, 2001). Dentre as fontes típicas de geração, os resíduos oriundos da construção equivalem entre 19 a 52% (m/m) do RCD, enquanto que os resíduos provenientes da demolição representam de 50 a 81% (m/m) do RCD (ANGULO, 2005).

Devido a densidade demográfica e a carência de espaço para depositar os resíduos sólidos, os países europeus e o Japão possuem políticas mais desenvolvidas e consolidadas, que através do elevado nível de industrialização e a falta de recursos naturais, se tornaram pioneiros na elaboração de trabalhos para o conhecimento e controle dos resíduos de construção civil (PINTO, 1999).

## 4.2 DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS

Segundo a Resolução nº 307 do CONAMA (CONAMA, 2002), é proibido a destinação dos resíduos da construção civil em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei. Foi definido que os RCD devem ser reutilizados ou reciclado na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura. Entretanto, no Brasil a deposição de grandes volumes de RCD é feita geralmente em “bota foras” (PINTO, 1999).

A destinação dos resíduos de construção e demolição em aterros resulta no constante esgotamento desses locais, que conseqüentemente aumentam os gastos públicos com desapropriação necessárias para a criação de novas áreas destinadas

ao armazenamento de resíduos. Em cidades de médio e grande porte, as áreas próprias para a construção de aterros sanitários estão cada vez mais distantes dos centros urbanos, que acabam causando uma elevação nos custos dos transportes dos resíduos e contribuindo para que os gastos com limpeza pública consumam uma parcela significativa dos orçamentos. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, esses custos consomem de 7 a 15% dos orçamentos municipais, dos quais cerca de 50 a 70% são destinados somente à coleta e transporte dos resíduos (GRUBBA, 2009).

A situação da gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil é agravada pelos altos níveis de disposição irregular em vias públicas, terrenos baldios, praças, calhas de rios e encostas. Esse meio de destinação dos RCD provoca diversos impactos ambientais à sociedade, como a degradação das áreas de mananciais e de preservação permanente, a proliferação de agentes transmissores de doenças, assoreamento de rios e córregos, a obstrução dos sistemas de drenagem e a ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos (SINDUSCON-SP, 2005).

A maioria das prefeituras municipais do país realizam periodicamente operações de coleta de entulhos em pontos de disposição irregular, consideradas como medidas corretivas dos defeitos com a gestão dos RCD. No entanto, esse tipo de solução não resolve o problema, pois em função da difícil acessibilidade da população a dispositivos adequados de coleta, acabam dispondo novamente os resíduos no mesmo local irregular (GRUBBA, 2009).

As disposições ilegais de RCD também ocorrem devido aos custos e distâncias que envolvem o transporte desse resíduo. Apesar de existir leis que proíbem tal atividade, ela só se torna efetiva a partir do momento que acaba sendo mais atraente no ponto de vista econômico. Para isso, é necessário o melhor posicionamento estratégico de áreas de coleta dentro da malha urbana de forma a minimizar a distância e o custo de transporte (PINTO, 1999).

Para incentivar a reciclagem sob o ponto de vista econômico na União Européia, vários países membros vem tomando medidas para restringir ou proibir a disposição de resíduos da construção civil em aterros sanitários. Em 1996, o Reino Unido introduziu uma tarifa sobre a deposição de resíduos inertes em aterros. Em 1997, a Holanda proibiu a deposição de RCD em aterros sanitários (MOTTA, 2005).



### 4.3. RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A reciclagem de resíduo de construção e demolição compreende o processo de reaproveitamento desses materiais após a sua transformação, permitindo que sejam utilizados de forma racional. O processo pode ser exercido na forma de agregados, por meio de um beneficiamento, constituído de operações de triagem, britagem, peneiramento e armazenamento. Os agregados reciclados são classificados de acordo com sua constituição predominante em dois grupos, agregados reciclados de concreto (ARC) e agregados reciclados mistos (ARM) (ABNT, 2004).

Os agregados reciclados de concreto (ARC) são obtidos do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto em sua fração gráuda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Os agregados mistos são obtidos do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração gráuda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas (ABNT, 2004).

A reciclagem dos resíduos da construção civil não minerais, como madeiras, plástico entre outros, desde que segregados, é regularmente praticada visto que em cidades de médio e grande porte existem catadores ou empresas especializadas na coleta e reciclagem desses materiais. No entanto o mesmo não ocorre com a porção mineral do RCD que representa uma grande parcela de resíduo (ANGULO, 2005).

Agregados reciclados são definidos, segundo a norma NBR 15114 (ABNT, 2004), como materiais granulares provenientes do beneficiamento de resíduos de construção da classe A que apresentam características técnicas para a aplicação em obras e edificação, de infra-estrutura, de aterros sanitários ou outras obras de engenharia (Vi, 2001).

De acordo com Motta (2005), o crescimento da preocupação em relação aos impactos ambientais usinas de reciclagem começaram a se instalar e crescer no Brasil a partir da década de 90 e embora este processo tenha se introduzido cedo, a publicação das primeiras normas nacionais relacionadas aos agregados reciclados de resíduos de construção só ocorreu em 2004, quando a ABNT lançou 4 especificações que tratam desde a instalação de recebimento do material até a sua aplicação em pavimentação ou em concreto sem função estrutural. São estas normas:

- NBR 15113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15114 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Área de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos;
- NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Mesmo com a publicação de legislações e normas técnicas específicas para auxiliar o reuso de resíduos no Brasil, em 2004 haviam 14 usinas de reciclagem de RCD, espalhadas em 12 cidades e em 2007 esse número aumentou para apenas 16 unidades (GRUBBA, 2009). Concomitante a esse processo de desenvolvimento, investimentos e pesquisas relacionados ao tema vêm sendo realizados em todo o mundo.

Em países como Inglaterra e Bélgica, o incentivo a reciclagem se apresenta através de subsídios financeiros, para a compra de equipamentos no caso dos ingleses e para investimento em companhias de reciclagem que processam os resíduos da construção civil no caso dos belgas (SCHNEIDER, 2003).

#### 4.4. PAVIMENTAÇÃO COM AGREGADO RECICLADO

A aplicação de agregados reciclados oriundos de resíduos de construção e demolição em camadas de base e sub-base possui diversas vantagens para a administração pública, sendo o principal atrativo relacionado ao fator econômico. Esses materiais são vendidos, geralmente a preços inferiores aos dos agregados minerais normalmente utilizados em pavimentação.

A reutilização dos resíduos sólidos em pavimentação é um dos meios mais difundidos para o beneficiamento desses últimos ao apresentar diversas vantagens como:

- A flexibilidade na aplicação, podendo ser reaproveitado tanto na porção miúda, quanto graúda;

- Simplicidade dos processos de execução do pavimento e de produção do agregado, contribuindo para a redução dos custos e a difusão desse meio de reciclagem;
- Viabilidade de utilizar grande parte dos materiais residuais da construção civil como concreto, argamassas, materiais cerâmicos e dentre outros;
- A utilização dos agregados reciclados em granulometrias graúdas reduz o consumo de energia do processo de beneficiamento do resíduo;
- Geotécnicamente o agregado reciclado é um material não plástico com expansibilidade baixa ou nula, contribuindo para a estabilização dos solos (Vi, 2001).

O estudo da destinação de resíduos sólidos da construção civil na pavimentação vêm sendo realizada há alguns anos. Em 1984, foi pavimentada a primeira via de São Paulo utilizando agregados reciclados de resíduos da construção e demolição com acompanhamento tecnológico, através de uma parceria entre a Prefeitura Municipal de São Paulo, que foi responsável pela execução e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (ITP) se incumbiu de acompanhar a obra. Ela se localiza na zona oeste da cidade, onde é caracterizado para um baixo volume de tráfego, e apresentou um desempenho altamente satisfatório (MOTTA, 2005).

Segundo a Prefeitura Municipal de SP, 2008, a partir de 2003, os incentivos ao uso de agregados reciclados se tornaram mais relevante na cidade de São Paulo com a publicação da especificação de serviço PMSP/SP ETS – 001/2003 que define critérios para execução de camadas de reforço de subleito, base ou sub-base de pavimentos com agregados reciclados da construção civil. No final de 2006, as contratações de obras e serviços para pavimentação de vias públicas começaram a contemplar de modo preferencial o emprego desses materiais, através de um decreto. Desde 2007, os projetos prevendo materiais reciclados passaram a ser obrigatórios, nos casos onde há viabilidade técnica (GRUBBA, 2009).

A construção de pavimentos com utilização de agregados reciclados no revestimento primário, reforço do subleito, sub-base e base são realizados em Belo Horizonte (MG) desde 1996. Até julho de 2001 foram utilizadas quase 137.000 toneladas do material em 271 vias reconstruídas ou implantadas, totalizando aproximadamente 400km de ruas. Os projetos foram baseados em dimensionamentos

empíricos, que partiram de cálculo do Índice de Suporte California e a experiência de engenheiros do município (DIAS, 2004).

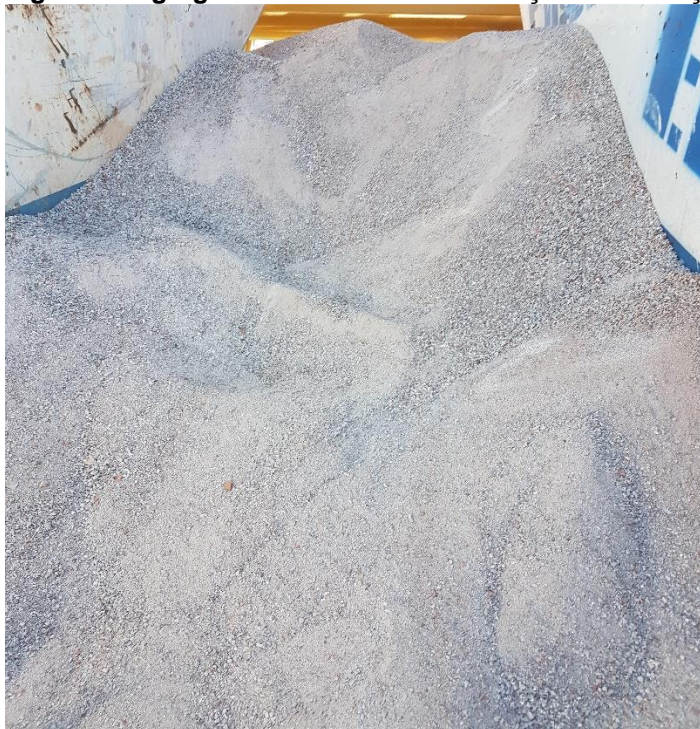
## 5 METODOLOGIA

Parte do estudo desenvolvido foi realizado, primeiramente, através de uma ampla pesquisa bibliográfica, documental, quantitativa, qualitativa e de campo, embasado em monografias, artigos, dissertações, periódicos e teses de autores com foco na área da pavimentação, complementados por livros, revistas e dados de entidades nacionais, estaduais e municipais que englobam o tema, dando suporte informativo para a elaboração do trabalho.

### 5.1 MATERIAIS

O resíduo de construção e demolição utilizado foi coletado em um saco de 40 kg na empresa Contorno Sul, um depósito localizado na cidade de Maringá-PR, onde funciona uma usina de reciclagem. O mesmo foi caracterizado pela própria empresa e é composto de 71% de material argamassado e 29% de material cerâmico de um montante de 40 kg do agregado.

**Figura 1– Agregado de resíduo de construção e demolição.**



**Fonte: Autoria própria.**

A extração do solo foi feita na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, na cidade de Campo Mourão em um espaço próximo ao refeitório dentro do campus. Com a utilização de um trado, o mesmo foi retirado de uma profundidade de um metro para evitar a presença de materiais orgânicos e possíveis contaminantes que possam alterar as propriedades do solo. Posteriormente ao processo de coleta, o mesmo foi destorroado no almofariz e peneirado na peneira 4,8mm.

Os materiais foram dispostos em bandejas e armazenados no laboratório da universidade para o processo de secagem natural durante sete dias. Posteriormente ao processo, foi coletado três amostras do solo e do agregado para colher dados de umidade, o solo apresentou umidade de 15,65% e o agregado de RCD 3,08%.

## 5.2 ENSAIOS

### 5.2.1. Ensaio de compactação do solo

Devido a umidade ótima desconhecida de amostras com uso de agregado reciclado de construção e demolição graduado em 10%, 25% e 50%, foi necessário efetuar o ensaio de compactação do solo para aplicação dos dados no ensaio CBR. O ensaio de compactação do solo não foi feita para a amostra de solo pois já havia sido realizada na universidade, dado o grau de 30% de umidade ótima.

Para isso foi preparado primeiramente a amostra do agregado reciclado em uma bandeja, usando como parâmetro de porcentagem da substituição graduada a massa dos componentes (Tabela 1).

**Tabela 1 - Massas das amostras preparadas para o ensaio de compactação do solo.**

Aplicação do RCD	Massa de solo (kg)	Massa de Agregado (kg)	Massa Total (kg)
10%	3,853	0,428	4,281
25%	4,185	1,395	5,58
50%	2,811	2,811	5,622

Após as amostras de solo com adição de agregado reciclado homogeneizadas, foi feito uma adição estimada de água na mistura para iniciar a curva de compactação

(Tabela 2) e acrescida 2% de umidade gradativamente após cada coleta de dados do corpo de prova já pronto.

**Tabela 2- Umidade inicial das amostras.**

<b>Amostra</b>	<b>Umidade Inicial</b>
Com 10% de RCD	20%
Com 25% de RCD	18%
Com 50% de RCD	16%

Seguindo o ensaio, as amostras prosseguiram para o processo de preparação do proctor. Nesta etapa, o mesmo foi inserido no cilindro de 1000cm<sup>3</sup> com colarinho em 5 camadas e socado com 26 golpes do soquete cilíndrico grande por camada, conforme especificado na norma técnica ABNT NBR 7182/2016.

Com a mistura compactada no proctor, o mesmo foi pesado e encaminhado para a extração do corpo de prova, através do extrator disponibilizado no laboratório, representado na figura 1, e levado para a coleta de dados. O corpo de prova extraído foi destorroado e antes da adição de 2% de água foi retirado três amostras da mistura para análise de umidade, ilustrados na Figura 2 e 3.

**Figura 2 - Extração do corpo de prova do proctor.**



Fonte: Autoria própria

**Figura 3 - Amostras coletadas para ensaio de umidade.**



**Fonte: Autoria própria**

Retirado o corpo de prova do proctor e destorroado novamente, foi adicionado à mistura 2% de água para realizar a moldagem do corpo de prova com o misto de solo e agregado acrescido de umidade. Este processo foi realizado em quatro repetições para obter 5 pontos na curva de compactação como exige a norma técnica, isto para cada amostra da aplicação graduada do agregado.

#### 5.2.1. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR)

O ensaio California Bearing Ratio ou Índice de Suporte Califórnia foi executado seguindo a norma do DNIT 172/2016 e consiste na aplicação de um carregamento inerte em meio saturado. Sendo dividido em três etapas, a moldagem do corpo de prova, imersão em água por 96 horas e penetração no corpo de prova por um pistão a velocidade constante.

Foram realizados ensaio CBR para mistura com diferentes teores de RCD e de solo. A primeira com 10% de RCD e 90% de solo, a segunda com 25% de RCD e 75% de solo, a terceira com 50% de RCD e 50% de solo e a quarta com 0% de RCD e 100% de solo.



A moldagem do corpo de prova foi realizada posteriormente a preparação do material que compreende as misturas do agregado de resíduo de construção e demolição e o solo em condições de umidade ótima e massa específica máxima, assim como para o solo natural. A Figura 4 apresenta a mistura preparada para a moldagem do corpo de prova.

**Figura 4 – Preparo da mistura para a moldagem do corpo de prova.**



**Fonte: Autoria própria**

As misturas homogeneizadas foram introduzidas no proctor em cinco camadas e socado com o soquete cilíndrico grande 26 vezes por camada no proctor junto ao colarinho. Com os corpos de prova moldado, o mesmo foi levado para pesagem e preparado para ser imerso em água. O preparo foi feito retirando o colarinho e rasando o material na altura exata do molde, em seguida o proctor foi invertido, deixando a superfície em contato com o prato perfurado, para inserir os discos anelares no lugar do disco espaçador.

Os moldes foram imersos em água com um relógio comparador para análise de expansão e retirados após 96 horas. Logo em seguida a retirada, os corpos de

prova dentro dos cilindros juntamente com as sobrecargas foram submetidos a uma carga de compressão com velocidade de 1,27mm/min na prensa com o pistão de penetração do solo, fazendo a leitura obtida no extensômetro do anel dinamométrico em intervalos de tempo em minutos, sendo 0,5'; 1'; 1,5'; 2'; 3'; 4'; 6'; 8'; 10'.

**Figura 5 – Proctor imerso em água com relógio comparador.**



Fonte: Autoria própria

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a apresentação e análise dos resultados, foram levados em consideração os ensaios de compactação do solo e o ensaio de CBR a que foram submetidos os materiais estudados na presente pesquisa.

### 6.1 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

Dos ensaios de compactação do solo com agregado reciclado de concreto, foram coletados os dados de massa específica e umidade dos diferentes teores de aplicação do agregado, representados na Tabela 3, 4 e 5.

**Tabela 3 - Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade para mistura de 10% RCD e 90% Solo.**

<b>Compactação: 10% RCD – 90% Solo</b>	
<b>Peso específico aparente seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
1549,83	22,44
1572,96	23,39
1659,13	24,34
1592,66	26,33
1518,28	28,53

**Tabela 4 – Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade para mistura de 25% RCD e 75% Solo.**

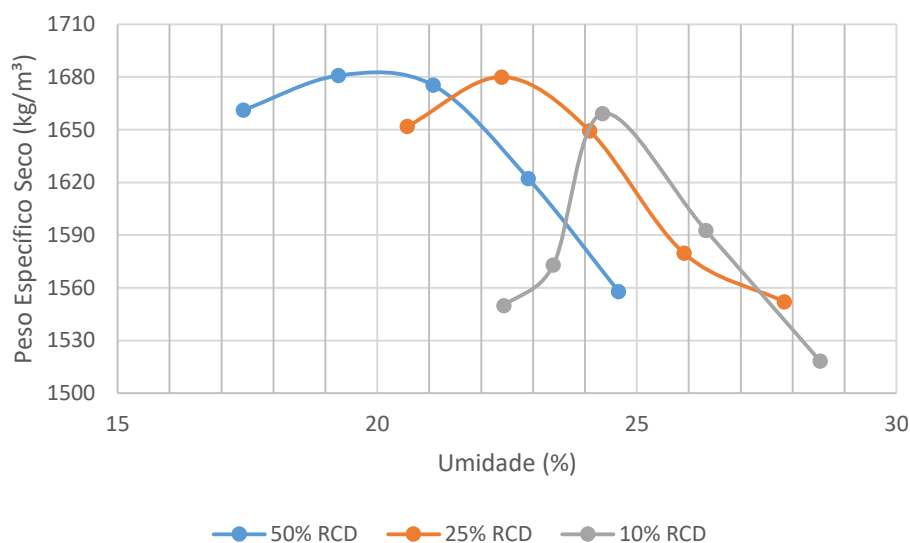
<b>Compactação: 25% RCD – 75% Solo</b>	
<b>Peso específico aparente seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
1651,87	20,58
1679,93	22,4
1649,3	24,09
1579,65	25,91
1552,04	27,84

**Tabela 5 – Pesos específicos aparentes secos e teores de umidade para mistura de 50% RCD e 50% Solo.**

Compactação: 50% RCD – 50% Solo	
Peso específico aparente seco (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)
1661,12	17,42
1680,77	19,25
1675,22	21,08
1622,12	22,91
1557,83	24,65

Os dados coletados foram inseridos em um gráfico para análise da curva de compactação, onde foi possível obter o teor de umidade ótima e o peso específico seco máximo através dos cinco pontos apresentados graficamente na Figura 6.

**Figura 6 – Gráfico do teor de umidade em relação ao peso específico seco das amostras com aplicação de RCD.**



**Fonte: Autoria própria**

Analisando a curva de compactação para as três misturas submetidas aos ensaios realizados, foram obtidos os elementos de peso específico aparente seco máximo e a umidade ótima de cada amostra com seus respectivos teores de resíduo aplicado (10%, 25% e 50%), sendo apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 – Pesos específicos aparentes secos máximos e teores de umidade ótima para as misturas.**

Mistura	Peso Específico Aparente Seco Máximo (kg/m <sup>3</sup> )	Umidade Ótima (%)
10% de RCD e 90% de Solo	1659,13	24,34
25% de RCD e 75% de Solo	1679,93	22,4
50% de RCD e 50% de Solo	1680,89	19,38

Os dados apresentados na Tabela 6 foram utilizados para a preparação do solo no ensaio CBR e observa-se um aumento do peso específico aparente seco máximo com o aumento do teor de resíduo na mistura. Percebe-se também uma redução da umidade ótima a medida em que o teor de resíduo aplicado a mistura cresce.

## 6.2 ENSAIO CBR

A preparação das misturas com teor de umidade ótima foi feito utilizando os dados coletados no ensaio de compactação do solo e posteriormente empregado no ensaio para a determinação do índice de suporte califórnia. No ensaio CBR foram obtidos os valores de expansão médio em duplicata para cada tipo de mistura, apresentado na Tabela 7.

**Tabela 7 – Expansão das misturas no ensaio CBR.**

Mistura	Expansão (%)
0% RCD – 100% Solo	0,16
10% RCD – 90% Solo	0,33
25% RCD – 75% Solo	0,17
50% RCD – 50% Solo	0.015

Analisando os resultados obtidos no ensaio, observou-se uma redução na expansão conforme a adição do resíduo na mistura.

Os dados coletados no ensaio de penetração do CBR foi coletado no extensômetro do anel dinamométrico em milímetros. O mesmo foi transformado para unidade de carga, e com a área do pistão utilizado obteve-se a pressão exercida no corpo de prova. A análise foi realizada com os resultados apresentados na Tabela 8, 9, 10 e 11.

**Tabela 8 – Penetração e pressão do Solo.**

<b>Valores de Penetração e Pressão - Solo</b>	
<b>Penetração (mm)</b>	<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
0	0
0,63	1,90
1,27	2,98
1,9	3,84
2,54	4,81
3,81	6,21
5,08	7,28
7,62	8,47
10,16	9,54
12,7	10,40

**Tabela 9 – Penetração e pressão da Mistura de 10% de RCD e 90% de Solo.**

<b>Valores de Penetração e Pressão – 10% RCD e 90% Solo</b>	
<b>Penetração (mm)</b>	<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
0	0
0,63	1,47
1,27	2,87
1,9	3,95
2,54	5,13
3,81	7,93
5,08	9,11
7,62	8,68
10,16	9,22
12,7	6,96

**Tabela 10 – Penetração e pressão da Mistura de 25% de RCD e 75% de Solo.**

<b>Valores de Penetração e Pressão – 25% RCD e 75% Solo</b>	
<b>Penetração (mm)</b>	<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
0	0
0,63	8,25
1,27	13,63
1,9	17,61
2,54	20,73
3,81	23,53
5,08	24,39
7,62	25,90
10,16	27,94
12,7	29,66

**Tabela 11 – Penetração e pressão da Mistura de 50% de RCD e 50% de Solo.**

<b>Valores de Penetração e Pressão – 50% RCD e 50% Solo</b>	
<b>Penetração (mm)</b>	<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
0	0
0,63	3,95
1,27	6,64
1,9	9,33
2,54	11,59
3,81	15,68
5,08	19,55
7,62	26,22
10,16	32,25
12,7	38,92

Analisando os resultados foi possível observar a pouca variação de pressão entre o solo natural e a adição de 10% de RCD na mistura. Nas misturas de 25% e 50% de RCD aplicado a pressão aumentou, apresentando variações até três vezes maior que a do solo natural. Posteriormente aos dados de pressão de cada mistura, foi possível obter o Índice de Suporte Califórnia, apresentado na Tabela 12.

**Tabela 12 – Índice de Suporte Califórnia das misturas.**

Mistura	CBR (%)
0% RCD – 100% Solo	6,91
10% RCD – 90% Solo	8,64
25% RCD – 75% Solo	29,49
50% RCD – 50% Solo	18,53

Os resultados apresentados na Tabela 12 mostram que a mistura com 25% de resíduo e 75% de solo obteve o maior valor de CBR e com o aumento do teor de resíduo de 50%, o Índice de Suporte Califórnia diminuiu. No ensaio foi possível notar a consistência e coesão da mistura de 50% de RCD menor que a mistura com 25% de agregado posteriormente a retirada do corpo de prova do molde, ilustrado nas figuras 7 e 8.

**Figura 7 – Corpo de prova da mistura de 25% de RCD e 75% de Solo.**

Fonte: Autoria própria



**Figura 8 – Corpo de prova da mistura de 50% de RCD e 50% de Solo.**



**Fonte: Autoria própria**

## 7 CONCLUSÃO

A presente pesquisa apresentou um estudo do comportamento mecânico do agregado reciclado de resíduo da construção e demolição provido pela empresa Depósito Contorno Sul de Maringá para reforço na base e sub-base de fundações superficiais.

O material estudado foi submetido aos ensaios com diferentes teores de aplicação do resíduo. No ensaio de compactação, as misturas apresentaram menor umidade ótima e maior peso específico aparente seco máximo conforme o aumento do teor de resíduo aplicado a mistura, devido ao fato do resíduo possuir maior densidade e menor superfície específica que o solo.

No ensaio CBR o material apresentou bons resultados para a mistura com 25% e 50% de resíduo aplicado, sendo o Índice de Suporte Califórnia de 29,49% e 18,53% respectivamente. Através destes dados podemos afirmar que a aplicação do resíduo de construção e demolição nas camadas de base e sub-base é viável, se controlado o teor do agregado utilizado na mistura.

Para o material poder ser utilizado em uma base de pavimento, o valor de CBR deve ser maior que 20%. Atendendo a esta condição, a mistura com 25% de resíduo e 75% de solo mostrou-se viável para o emprego nesta camada, com 9,49% a mais que o requerido. No entanto as outras misturas não atenderam este quesito.

Na camada de sub-base o Índice de Suporte Califórnia varia de 2% a 20% para o material ser empregado. Dentre as misturas que atenderam a este intervalo, a mistura com 50% de resíduo de construção e demolição e 50% de solo obteve o melhor resultado, com 18,53% de CBR.

## 8 REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). **NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

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

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ANGULO, Sérgio Cirelli . **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese (Doutorado). 2005, 236p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

CNT, C. N. de T. **Pesquisa CNT de Rodovias 2016**. 2016. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/brasil-tem- apenas-12-da-malha-rodoviaria-com-pavimento>. Acessado em: 27 de maio de 2017

DIAS, João Fernando. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. 2004, p. 268.

FREITAS, Isabela Mauricio. **Os resíduos de construção civil no município de Araraquara/SP**. 2009, p. 70. Universidade de Araraquara.

GRUBBA, David Christian Regis Pereira. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária.** 2009, p. 134.

MARQUES, José Carlos. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil.** 1st edn. São Carlos: RIMA. 2005.

MOTTA, Rosângela dos Santos. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.** 2005, 134p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999, 218p.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo.** 2003, p. 130.

SINDUSCON-SP, Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: Experiência do SINDUSCON-SP.** 2005, p. 48.