

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CAMADAS DE BASE
DE PAVIMENTO ASFÁLTICO FLEXÍVEL**

**TEÓFILO OTONI
2018**

**DANILO MAGNO LANGHOLZ
GERSON HENRIQUE DA SILVA PINTO
PATRÍCIA DE OLIVEIRA BORGES LANGHOLZ**

FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CAMADAS DE BASE
DE PAVIMENTO ASFÁLTICO FLEXÍVEL**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil das Faculdades Unificadas de
Teófilo Otoni, como requisito parcial
para a obtenção do grau de bacharel
em Engenharia Civil.**

Área de concentração: Pavimentação

**Orientador: Prof. Marcos Túlio
Fernandes**

TEÓFILO OTONI

2018



FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Utilização de resíduos de construção civil em camada de base de pavimentação asfáltico flexível, elaborado pelos alunos Danilo Magno Langholz, Gerson Henrique da Silva Pinto e Patrícia de Oliveira Borges, foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de Engenharia Civil das Faculdades Unificadas Teófilo Otoni, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

Teófilo Otoni, 11 de dezembro de 2018

Marcos Túlio Fernandes

Nírive Bastos

Jouséberon Miguel

Dedicamos a todos que estiveram juntos conosco nessa caminhada que está se encerrando. Um ciclo de lutas termina e um ciclo de vitórias se inicia.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida que nos concedeu.

A Ele por nos ter dado força nos momentos difíceis.

As nossas famílias que sempre nos apoiaram nas escolhas que fizemos.

Aos colegas que permaneceram juntos nessa caminhada.

Aos mestres que nos proporcionaram conhecimento durante essa jornada.

Em especial ao nosso professor Orientador Marcos Túlio Fernandes.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para essa nossa conquista, nosso muito obrigado!

*Quanto mais energia você coloca em algo mais recebe de volta, colheremos
agora os frutos que plantamos!*

Autor desconhecido

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CNT – Confederação Nacional de Transportes.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CP – Corpos de Prova

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte.

ISC – Índice de Suporte Califórnia.

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

PNRS – Política Nacional Resíduos Sólidos.

RCDs – Resíduos da Construção e Demolição.

SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos

TRB – *Transportation Research Board*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das camadas de pavimento flexível.....	33
Figura 2 - Distribuição das camadas de pavimento rígido de cimento Portland.....	34
Figura 3 - Distribuição das camadas de pavimento semi-rígido.....	35
Figura 4 - Jazida de cascalho situada na Rua Coronel Mario Cordeiro.....	38
Figura 5 - Caçambas de entulho onde foram coletadas as amostras de RCDs para análise.....	38
Figura 6 - Britador utilizado para quebra das partículas dos RCDs.....	39
Figura 7 - Material britado no britador de mandíbula.....	40
Figura 8 - Corpo de prova em imersão após compactação.....	41
Figura 9 - Prensa utilizada para a execução do ISC.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise granulométrica do solo natural.....	46
Gráfico 2 - Curva granulométrica do solo dentro da faixa D conforme DNIT.....	47
Gráfico 3 - Curva de compactação da amostra de solo.....	47
Gráfico 4 - Análise granulométrica dos RCDs.....	48
Gráfico 5 - Curva granulométrica do solo-RCDs dentro da faixa de projeto DNIT.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos limites de Atterberg e massa específica dos solos.....	45
Tabela 2 - Índice de Suporte Califórnia obtidos com as amostras de solo.....	49
Tabela 3 - Índice de Suporte Califórnia obtidos com amostra de Solo-RCDS.....	49
Tabela 4 - Comparação do Índice de Suporte Califórnia das amostras.....	51

RESUMO

A construção civil agride sistematicamente o meio ambiente e é uma atividade que produz muitos resíduos. Uma destinação de reaproveitamento desses materiais resulta em uma diminuição no descarte inadequado desses resíduos. Uma área da engenharia civil que pode absorver esses resíduos da construção e demolição (RCDs) é a pavimentação de estradas, pois essa atividade necessita de grande volume de materiais de empréstimo para sua execução. O propósito deste trabalho foi de analisar o comportamento da resistência de uma amostra de solo natural comparando com uma mistura de RCDs através dos resultados do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e índice de expansão. As qualidades mecânicas das amostras foram comparadas para o uso em camadas de pavimentos asfáltico flexíveis. As amostras foram divididas em duas composições, uma do solo natural e a outra com um acréscimo de 30% de RCDs para realização dos ensaios em laboratório. Com os resultados das amostras, encontrou-se um crescimento nos valores de ISC em 30,18%, e a expansão não apresentou alteração considerável. Contudo os resultados do ISC apresentados foram satisfatórios para o uso em camadas de subleito e sub-base tanto para as amostras de solo e para amostra com adição de RCDs.

Palavras-chave: Construção Civil. Meio Ambiente. Pavimentação. Resíduos da Construção e Demolição.

ABSTRACT

The civil construction systematically hits the environment and it's an activity that produces a lot of debris. A reuse of these materials results in a decrease in the inadequate disposal of these wastes. An civil engineering area that can absorb those construction and demolition wastes (RCDs) is the road paving, because needs a large volume of loan supplies on their execution. The samples were divided in two compositions, one from natural soil and other with 30% mixture of RCDs. This work purpose was to analyze the resistance behavior of a natural soil sample comparing with an RCDs mixture through results of the California Bearing Ratio (CBR) and expansion index. The mechanical qualities of the samples were compared for use in flexible asphalt paving layers. The aim of the study was to characterize the samples through laboratory tests. With the samples results, an increase of 30,18% in the ISC value was found, and the expansion did not present a considerable change. However, the CBR results presented were satisfactory for use in subgrade and sub-base layers both for soil samples and for sample with addition of RCDs.

Key words: Construction industry. Environment. Paving. Construction wastes and Demolition.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1 Resíduos da construção e demolição	27
2.1.1 Legislações vigentes	27
2.1.2 Classificação dos resíduos da construção e demolição	28
2.2 Pavimentação	29
2.2.1 História da pavimentação no Brasil	30
2.2.2 Materiais utilizados na pavimentação	31
2.2.2.1 Agregados graúdos e miúdos	31
2.2.2.2 Solos	32
2.2.2.3 Materiais betuminosos	32
2.2.3 Tipos de pavimento	32
2.2.3.1 Pavimento flexível	33
2.2.3.2 Pavimento rígido	34
2.2.3.3 Pavimento semi-rígido	34
2.3 Uso dos resíduos da construção e demolição na pavimentação	35
3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA	37
3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins	37
3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios	37
3.2.1 Área de estudo	37
3.2.2 Caracterização dos materiais	38
3.2.3 Ensaio para caracterização do solo	39
3.2.4 Ensaio para caracterização dos resíduos da construção e demolição	40
3.2.5 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia	41
3.3 Tratamento de dados	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Ensaio de caracterização dos materiais	45
4.1.1 Ensaio para as amostras de solo	45
4.1.2 Ensaio para as amostras dos resíduos	48
4.2. Resultados do Índice de Suporte Califórnia	49
4.2.1 Resultados do Índice de Suporte Califórnia do Solo	49
4.2.2 Resultados do Índice de Suporte Califórnia para a mistura de solo-RCDs	49
4.2.3 Comparação dos resultados obtidos com amostras de solo e com a mistura solo-RCDs	50
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é geradora de resíduos que poluem o meio ambiente quando o mesmo não tem destinação adequada. Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 307/2002, esses resíduos são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e também resultantes da preparação e da escavação de terrenos. De determinado modo esses resíduos geram impactos ambientais nos centros urbanos, além de colaborar diretamente com o volume de material sólido nos aterros sanitários, atingindo diretamente o meio ambiente. Nesse panorama, uma destinação de reaproveitamento desses materiais pode diminuir os impactos provocados ao meio ambiente.

Da Silva *et al.* (2015) recorda à capacidade de mudança da paisagem através da construção civil uma vez que o excessivo consumo de recursos naturais e a elevada geração de resíduos, produz no meio ambiente uma grande variação de paisagismo. Com isso a construção civil caracteriza-se como uma atividade potencialmente degradante ao ambiente.

Os problemas mais comuns em obras de construção civil é a destinação dos resíduos que ficam amontoados em locais inapropriados aguardando sua destinação final, os aterros sanitários dos centros urbanos, onde o Serviço Nacional da Indústria (2005) menciona as políticas públicas já voltadas ao gerenciamento de RCDs onde buscam fomentar as empresas geradoras de resíduos a tomarem uma postura coordenada a implantar medidas que objetivem a redução da quantidade de resíduos produzidos.

Cunha (2007) afirma que a construção civil requer a prevenção e a redução dos resíduos, onde a sua reciclagem torna-se viável nos aspectos técnicos, econômicos e ambientais. A possibilidade de reaproveitamento dos RCDs em outras áreas da engenharia civil, torna-se uma excelente alternativa de amenizar os impactos gerados por essa atividade e também melhora o fluxo desses rejeitos nos canteiros de obras uma vez que uma nova destinação é ofertada aos RCDs.

Ao estudar fontes de reuso dos resíduos da construção civil, encontram-se meios que tornam um excelente auxílio no combate ao desperdício. Rodrigues (2013) reitera que com a redução da extração de matéria prima, alguns problemas ambientais urbanos gerados pela deposição indiscriminada dos RCDs acabam.

Cabe ainda destacar que o uso dos RCDs em camadas de base em pavimento asfáltico flexível nos possibilita um estudo que visa dar finalidade para um material que possivelmente será descartado em locais onde não serão reaproveitados para nada e conseqüente poluir o meio ambiente.

A elaboração desse trabalho partiu da investida em conhecer os RCDs e analisar o seu comportamento geotécnico diante do seu uso em camadas de base de pavimento asfáltico flexível.

O reaproveitamento dos RCDs em camadas de base de pavimentos pode vir a substituir a brita graduada que necessita de um beneficiamento antes do seu uso, diminuindo investimento e conseqüente trazendo ganhos financeiros para quem os reutilizam, além de economizar recursos minerais e diminuir a agressão causada pela construção civil ao meio ambiente.

Outro aspecto importante relaciona-se ao interesse social, uma vez que os resultados da pesquisa poderão contribuir diretamente para uma nova destinação desses resíduos, criando lacunas que podem ser exploradas pelo meio empresarial para futuros ganhos financeiros entre reaproveitamento e logística.

Visto isso, o presente trabalho pretende analisar o uso dos RCDs e identificar o potencial reuso para os mesmos, nesse caso, a utilização em camadas de base de pavimento asfáltico flexível a fim de verificar seu comportamento em substituição de materiais convencionais nas camadas de base dos pavimentos.

Para fazer essa análise foram realizados ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) de um solo coletado em jazida próxima ao centro urbano da cidade de Teófilo Otoni e também em uma mistura de RCDs na composição dos corpos de provas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos da construção e demolição

2.1.1 Legislações vigentes

Segundo a Resolução CONAMA 307/2002, os RCDs são originários de construções, reparos, reformas e demolições de obras de construção civil e também os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Com isso todo e qualquer material descartado e não reaproveitado nos canteiros de obras tornam-se resíduos que agredem o meio ambiente. Na mesma resolução, seu principal item abordado diz que, os geradores de resíduos devem ter como objetivo principal a não geração de resíduos, e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final. Os RCDs devem ser classificados de acordo com as normas e leis vigentes que os direcionam para uma destinação eficaz ao combate à poluição ambiental e para um aperfeiçoamento das vantagens agregadas a sustentabilidade.

A Prefeitura Municipal de Teófilo Otoni através da Lei municipal N°4255/98 em seu artigo 43, § 3º dispõe que os restos de materiais de construção, os entulhos e terras provenientes de construção, demolição ou reforma não podem ser recolhidos pela coleta pública municipal, os quais deverão ser removidos por responsabilidade dos proprietários.

A Lei nº 12.305/10, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos.

De acordo com órgãos governamentais os RCDs produzem um certo grau de poluição ambiental além de causar danos financeiros aos construtores por todo o país. Por se tratar de materiais volumosos e pesados tem como destino em sua maioria aterros sanitários que não são adequados para recebê-los de forma apropriada. Os municípios também se eximem da responsabilidade da destinação desses RCDs, como é o caso da cidade de Teófilo Otoni, que através de lei municipal atribui a responsabilidade dos RCDs para seus geradores e conseqüente não oferece local específico para uma futura reutilização dos mesmos.

Entretanto, a geração de resíduos não é mensurada pelos construtores que acabam por produzir e despejar grandes quantidades desses resíduos no meio ambiente. Antes de se encaminhar os RCDs para áreas de aterros, conforme mostrado, eles devem ser reutilizados, mas por falta de investimentos público e privado, são destinados a aterros sanitários para se misturarem ao lixo comum, sem nenhuma possibilidade de reaproveitamento.

Para Pimentel (2013), deve-se incluir uma gestão diferenciada para os RCDs onde deverá ser seguida e ampliada nos serviços públicos em parceria com os geradores, buscando um modelo eficaz e sustentável no reuso dos RCDs.

2.1.2 Classificação dos resíduos da construção e demolição

Os RCDs são classificados através da Resolução CONAMA 307/2002 da seguinte forma

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (BRASIL, 2002)

De acordo com Santos (2016), os RCDs são materiais inertes, mas que ocupam volume e podem causar aspecto visual desagradável. Nesse entendimento os RCDs além de poluição ambiental causam contaminação ótica que atrapalha o bem-estar nos grandes centros urbanos sendo causadores de entupimentos de bueiros e provocando enchentes.

Oliveira Filho (2015), ressalta a importância de classificar ou conhecer a fonte geradora de RCDs e ainda mencionar a tipologia da construção, industrial,

residencial, comercial ou outra. Com isso, um fator importante é o conhecimento da fonte geradora desses RCDs antes de seu reaproveitamento deixando livres de possíveis contaminantes como os das classes C e D. A gestão de classificação dos RCDs como citada por Pimentel (2013), deverá ser seguida e ampliada nos serviços públicos em parceria com os geradores, buscando um modelo eficaz na reutilização dos RCDs.

O uso de materiais naturais traz consequências e alterações no meio ambiente e ocasionam grandes impactos ambientais. Com isso, propõe-se explorar como o reaproveitamento desses RCDs, largamente descartados pela construção civil, pode ajudar no controle desses impactos ambientais e dar outra finalidade aos mesmos.

Recorda-se que ao analisar os RCDs, Costa (2015) diz que

a reciclagem, além de contribuir com a limpeza da cidade, poupa os rios, represas e terrenos baldios da degradação, alivia o impacto nos aterros sanitários e lixões e ameniza alagamentos e enchentes, uma vez que, não vão parar em bueiros e não impermeabilizam o solo. Em outras palavras, por motivos ambientais e econômicos, existe uma necessidade crescente da reciclagem.

A reciclagem dos RCDs interfere diretamente ao campo da denominação social, uma vez que o elemento central da pesquisa remete a destinação de novos meios para esses resíduos que são descartados de forma errônea em sua grande maioria. Contudo, sabe-se que a cidade de Teófilo Otoni não apresenta usina de beneficiamento disponível para esse reaproveitamento e aterro próprio para alocar esses materiais para no futuro proporcionar uma nova destinação.

2.2 Pavimentação

O Brasil é um país geograficamente extenso, tendo como principal meio de transportes o modal rodoviário. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2007), 60% do seu transporte passa pelo sistema rodoviário brasileiro. No que diz respeito a qualidade das rodovias, ainda segundo a CNT essa qualidade acarreta em um aumento no custo operacional do transporte rodoviário, aumenta o risco de acidentes e reduz o desempenho veicular, gerando custos indiretos para toda a sociedade.

A pavimentação é construída com o intuito de melhorar a mobilidade de veículos promovendo um melhor sistema operacional de tráfego. As condições do

pavimento influenciam diretamente aos custos relevantes da circulação de mercadorias uma vez que, os gastos em manutenção dos veículos estão ligados diretamente com a qualidade das vias em que os mesmos transitam.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) o pavimento é uma estrutura de camadas assentado sobre um subleito em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato, originando daí um elevado grau de complexidade, que respeita a determinação de tensões e deformações atuantes nas camadas, derivadas das cargas impostas pelo tráfego.

Para Andrade (2017), o pavimento tem a função de resistir as tensões verticais e horizontais do tráfego de forma economicamente viável. Isto é, com o mínimo de gastos possíveis o pavimento deve resistir ao tráfego de determinado número de veículos de uma via afim de melhorar o deslocamento entre trechos e proporcionar melhor fluidez entre as locomoções, criando caminhos mais confortáveis e melhorando a capacidade de rolamento das estradas.

2.2.1 História da pavimentação no Brasil

O Brasil efetivou-se a implantação da pavimentação quando melhorou o fluxo entre os carreiros entre as cidades interligando-as através de vias pavimentadas. O DNIT conta a história da pavimentação no Brasil através de um texto intitulado, Breve Histórico do Rodoviarismo Federal no Brasil, onde afirma que a primeira rodovia pavimentada por pedras de macadame do país foi concluída em 1861, conhecida como estrada União Indústria.

No mesmo texto, o DNIT ainda afirma que somente após 1926, com a criação da Diretoria de Estradas de Rodagem em São Paulo, órgão que teria autonomia para a construção e implantação de rodovias, o país começou a melhorar sua malha rodoviária e conseqüentemente evoluindo o fluxo entre as cidades, de pessoas e de mercadorias.

Para Bernucci *et al.* (2006), o grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu em meados da década de 40, graças à criação do Fundo Rodoviário Nacional em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos. A partir daí a necessidade de ligação entre os centros urbanos, e com o incentivo do

governo através da criação do Departamento de Estradas de Rodagem em cada estado, viu-se uma aceleração de crescimento da malha rodoviária no país.

Nas décadas seguintes o crescimento da pavimentação se viu entrelaçado ao desenvolvimento econômico e industrial do país. A necessidade de interligação entre norte-sul e leste-oeste fez com que a malha rodoviária chegasse a todos os cantos da Brasil mesmo de forma precária em muitos municípios.

2.2.2 Materiais utilizados na pavimentação

A pavimentação mobiliza grande volume de materiais, para Hilário (2016), os materiais utilizados em sua maioria são agregados graúdos e miúdos, diferentes tipos de solos, aglomerantes e materiais betuminosos. Quando há necessidade de um melhoramento das propriedades desses materiais o próprio autor indica que pode-se melhorar essas características adicionando aditivos como cal, cimento, emulsão asfáltica e outros materiais.

Materiais utilizados como base e sub-base de pavimentos para o DNIT (2006) podem ser solo-brita, brita graduada e brita corrida, e para as bases e sub-bases estabilizadas pode-se utilizar solo-cal, solo-cimento e solo-betume. A utilização de materiais recicláveis na pavimentação segundo Hortegal *et al.* (2009), tem-se mostrado viável diante a disponibilidade deste material e da existência de uma tecnologia de reciclagem, em virtude que a ABNT NBR 15115:2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos, institui que os RCDs podem ser utilizados em camadas de pavimentação desde que respeitadas suas características granulométricas e geotécnicas.

2.2.2.1 Agregados graúdos e miúdos

Agregados são materiais granulométricos, sólidos e possuem granulometria determinada. Para a ABNT NBR 15115:2004 o termo agregado é definido como material sem forma ou volume preciso, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto.

São distintos em dois grupos sendo que possuem suas características definidas pelo peneiramento. Os agregados graúdos são os materiais que são

retidos na peneira nº 10 (2mm), já os agregados miúdos são os materiais que passam na peneira nº 10 e retidos na peneira nº 200 (0,075mm).

2.2.2.2 Solos

Segundo o DNIT (2006)

os solos são distribuídos em dois grupos: residual e transportado. Os solos residuais são solos derivados de camadas geológicas formadas por materiais rochosos e decomposição de basaltos. Já os transportados são solos derivados de decomposições orgânicas, transportados por rios, aluviais, coluviais e eólicos. No Brasil o solo residual é o predominante em todo o território.

Para a classificação dos solos, um método bastante utilizado é o *Transportation Research Board* (TRB), onde os solos são divididos em grupos e subgrupos de acordo com sua granulometria e seus limites de consistência. Ocorre também para essa classificação, o Sistema Unificado de Classificação de Solos que também pode ser usado.

2.2.2.3 Materiais betuminosos

Os materiais betuminosos podem ser definidos através da ABNT NBR 7208:2004 – Materiais betuminosos para pavimentação – Terminologia (ABNT,2004), como produto complexo de natureza orgânica, de origem natural ou pirogênica, composto de uma mistura de hidrocarbonetos. É um material aglomerante que não necessita de água para pega, que através de aumento de temperatura se funde e se solidifica facilmente, tem boa ductilidade influenciada pela exposição ao calor e a luz solar.

Para Godoi (2011), os materiais betuminosos são materiais de construção muito utilizados pelo homem, podendo citar mais de cem aplicações conhecidas para esse material.

2.2.3 Tipos de pavimentos

A estrutura do pavimento deve ser constituída de acordo com o Manual de Pavimentação DNIT (2006) e suas características devem ser observadas através de

sua composição. Os pavimentos são divididos em flexíveis, rígidos e também podem ser construídos com a junção dos dois grupos tornando-os pavimentos semi-rígidos.

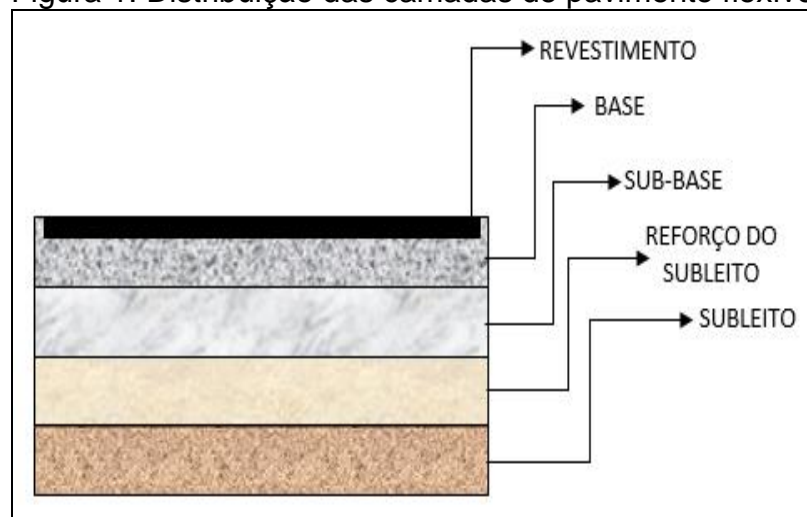
Cada projeto de pavimentação deve ser elaborado com critérios de viabilidade econômica, tornando a construção da pavimentação um meio que beneficie todos os envolvidos no processo de execução e utilização.

2.2.3.1 Pavimento flexível

A Figura 1 mostra as camadas de um pavimento flexível. Para dimensionamento das camadas de um pavimento flexível, devem ser consideradas as características dos materiais a serem usados, e para dimensionamento da espessura das camadas depende do valor do ISC e do mínimo solicitado de um eixo padrão conforme o DNIT (2006). É determinado como uma estrutura em camadas, composta por uma faixa de revestimento asfáltico que, dependendo do tráfego, deve ser composto de camadas de base, sub-base, subleito e quando necessário reforço do subleito.

O pavimento flexível possui um número maior de camadas e as cargas são distribuídas em uma área menor no subleito, além de requerer alguma iniciativa de reparo aproximadamente a cada dez anos.

Figura 1: Distribuição das camadas de pavimento flexível



Fonte: Adaptado de DNIT (2006)

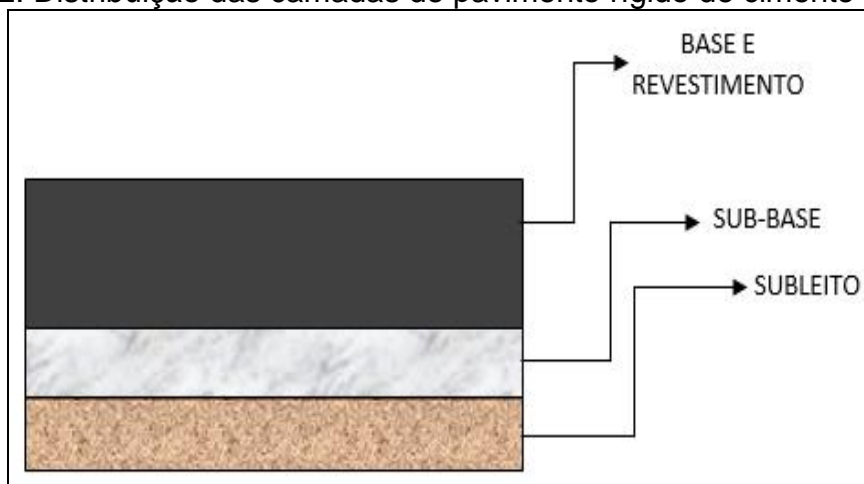
Para Sousa (2014), a predominância na pavimentação no Brasil é de pavimentos flexíveis, onde o próprio autor afirma que o pavimento flexível necessita de um trabalho mais frequente de conservação, fator importante em seu dimensionamento na fase de projeto, pois deve-se calcular a quantidade de

circulação de veículos em tempos futuros para que o desgaste das camadas do pavimento seja o mais tênue possível. É importante ter uma precisão em seu dimensionamento, pois é diretamente ligado a resistência do subleito.

2.2.3.2 Pavimento rígido

Fortes (2015), descreve os pavimentos rígidos como pavimentos constituídos por camadas que trabalham a tração, seu dimensionamento é baseado nas propriedades das placas de concreto de cimento Portland. A Figura 2, apresenta as camadas de pavimento rígido de concreto de cimento Portland.

Figura 2: Distribuição das camadas de pavimento rígido de cimento Portland



Fonte: Adaptado de DNIT (2006)

Para o pavimento rígido a espessura das camadas é determinada através da resistência a tração do concreto. Rodriguez (2011), preconiza a importância desta camada para que garanta a impermeabilidade do pavimento, não só através da laje como das juntas que devem estar fechadas com material conveniente.

Bianchi *et al.* (2008) cita uma importante vantagem do pavimento rígido para o pavimento flexível, onde sua vida útil podendo chegar ao dobro do pavimento flexível, além do seu dimensionamento ser diretamente ligado a resistência da placa de cimento.

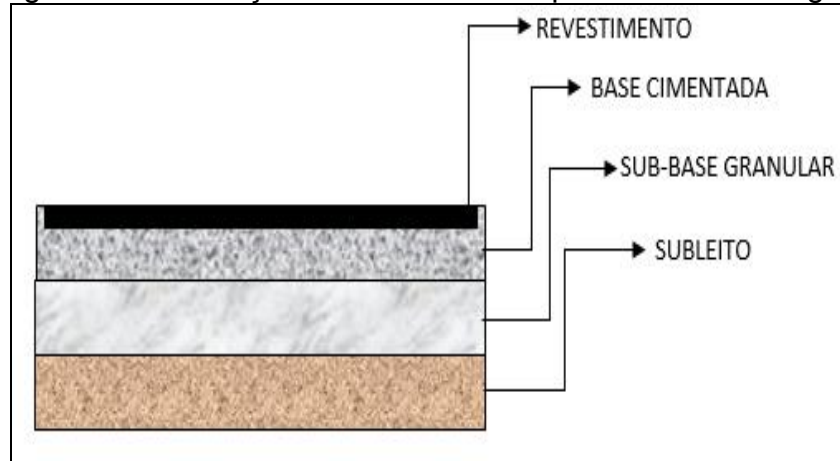
2.2.3.3 Pavimento semi-rígido

O pavimento semi-rígido é caracterizado por uma camada de solo-cimento e uma base composta por algum aglutinante, pode também ter uma camada

estabilizada quimicamente com cal. Sua deformabilidade é maior do que o rígido e menor que o flexível. As camadas do pavimento semi-rígido podem ter presença de solo-betume, solo-cimento e solo-cal.

Conforme apresentado na Figura 3, o pavimento semi-rígido é uma fusão onde as camadas de base e sub-base trabalham juntamente com a base cimentada para uma melhor resistência ao tráfego sobre o pavimento.

Figura 3: Distribuição das camadas de pavimento semi-rígido



Fonte: Adaptado de DNIT (2006)

2.3 Uso dos resíduos da construção e demolição na pavimentação

A preservação ambiental está presente em toda a construção civil, diferentemente de outras atividades produtoras de resíduos a própria construção civil pode absorver grande parte de seus próprios resíduos. Uma forma de amenizar os danos ao meio ambiente pode ser o consumo desses RCDs na pavimentação de estradas em suas camadas de base do pavimento, onde o seu aproveitamento pode contribuir para a diminuição em larga escala do descarte inadequado desses materiais.

Para Abdou e Bernucci (2006), a reutilização dos RCDs em pavimentos contribuem para a redução de custos, tornando a reciclagem desses resíduos uma atividade sustentável. Essa reciclagem deve proporcionar resultados financeiros para todos os envolvidos no processo, além de amenizar o descarte de grande quantidade de RCDs no ambiente.

Para Bagatini (2011),

a experiência internacional com relação a temas diretamente ligados à preservação do meio ambiente e a diminuição gradativa dos recursos naturais impulsionaram a recuperação de materiais que, de certa forma estavam sendo descartados, muitos indevidamente.

No exterior, Brasileiro (2013) cita que países como Holanda, Alemanha, Japão e Itália reutilizam os RCDs como uma excelente alternativa para amenizar os impactos ambientais gerando resultados eficazes e colaborando diretamente com o meio ambiente. A cidade de Belo Horizonte já utiliza os RCDs para pavimentação de reestruturação e pavimentação urbana.

Uma alternativa para a reutilização desses RCDs é na pavimentação de estradas onde deve-se analisar as características dos materiais e composições com resultados de ISC, que deve apresentar resultados satisfatórios para as normas correntes. A norma que designa o uso dos RCDs em pavimentação no Brasil é a ABNT NBR 15115 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos (ABNT,2004), onde estipula parâmetros para aplicação em camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos. Alguns aspectos levados em consideração por esta norma são: equipamentos utilizados, condições físicas da superfície de apoio da camada de agregado reciclado, transporte e compactação.

Os ensaios em laboratórios das amostras contribuem diretamente para a confirmação dos índices determinados pelas normas e métodos vigentes colaborando diretamente para encontrar todas as conclusões necessárias.

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA

3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins

A pesquisa realizada é do tipo quantitativa, pois os dados obtidos por testes e normas vigentes foram analisados e mensurados. Para Gerhardt (2009), a pesquisa quantitativa tem suas raízes no pensamento positivista lógico, e tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana.

A finalidade da pesquisa foi do tipo aplicada, uma vez que os resultados obtidos podem dar uma nova destinação para os RCDs, diminuindo o despejo desses materiais no aterro sanitário da cidade de Teófilo Otoni e mostrando aos geradores de resíduos uma nova destinação para esses materiais, pois ainda segundo Gerhardt (2009), a pesquisa objetiva gerar conhecimentos para aplicação na prática, dirigidos a solução de problemas específicos, problema esse é o descarte sem reaproveitamento dos RCDs.

3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios

3.2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido na cidade de Teófilo Otoni, estado de Minas Gerais, na busca de analisar o uso de RCDs em camadas de base de pavimentos asfálticos flexíveis, com a utilização de RCDs e tipo de solo coletado em jazida para a construção de um comparativo entre os resultados quanto a sua utilização em camadas de pavimentos.

A coleta do solo para análise foi executada na Rua Coronel Mário Cordeiro, em frente ao número 982, bairro Serra Verde, próxima ao centro urbano da cidade de Teófilo Otoni e que para uso futuro traria economia com transporte e logística. As coordenadas de posição geográficas são 17°51'50,16" de latitude Sul e 41°28'38,96" de longitude Oeste de *Greenwish*. A Figura 4, apresenta uma foto via satélite do local da coleta do solo.

Figura 4: Jazida de cascalho situada na Avenida Coronel Mário Cordeiro



Fonte: Autores

As amostras dos RCDs foram coletadas em caçambas de entulho na cidade de Teófilo Otoni, essa escolha se deu pelo fato de que na cidade o transporte mais utilizado para o descarte desses materiais são essas caçambas. A Figura 5 mostra os locais onde foram coletadas as amostras de RCDs para a pesquisa.

Figura 5: Caçambas de entulho onde foram coletadas as amostras de RCDs para análise



Fonte: Autores

3.2.2 Caracterização dos materiais

O solo coletado na jazida de cascalho necessita de beneficiamento através de peneiramento, onde segundo o DNIT (2006) deve-se fazer um tratamento de estabilização granulométrica com vista ao enquadramento nas especificações.

Os RCDs por se apresentarem com volume elevado e misturas de vários tipos de resíduos é necessário fazer uma triagem. A Resolução CONAMA 307/2002,

institui que os RCDs devem ser selecionados respeitando a sua composição. Essa triagem foi realizada diretamente na coleta dos RCDs onde foram coletados apenas os materiais de classe A, contendo em sua composição componentes cerâmicos, argamassas e concreto.

A britagem dos RCDs é de primordial importância para a homogeneização e preparação das partículas para uso como agregado graúdo em camadas de pavimentação. Para o processo de britagem utilizou o mini britador da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri conforme apresentada na Figura 6.

Figura 6: Britador utilizado para a quebra das partículas dos RCDs



Fonte: Autores

3.2.3 Ensaios para caracterização do solo

Os ensaios utilizados para a caracterização dos materiais foram realizados no laboratório de solos das Centro Universitário de Teófilo Otoni, segundo as recomendações das normas vigentes.

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a norma da ABNT NBR 7181:2016 - Solo - Análise granulométrica (ABNT,2016). Utilizou-se do peneiramento de uma porção de solo e também do ensaio de sedimentação com o intuito de obter a curva granulométrica do material. Ainda para caracterização do solo, foram necessários a verificação dos limites de Atterberg com o auxílio da ABNT NBR 6459:2016 - Solo - Determinação do limite de liquidez (ABNT,2016) e também

da ABNT NBR 7180:2016 - Solo - Determinação do limite de plasticidade (ABNT,2016). O limite de liquidez (LL) foi executado para a verificação do momento em que o solo passa do estado plástico para o líquido, já o limite de plasticidade (LP) foi executado para saber o limite onde o solo passa do estado semi-sólido para o estado plástico onde o mesmo perde a capacidade de ser moldado e passa a ficar quebradiço.

A massa específica foi realizada com o apoio da ABNT NBR 6508:1984 – Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica (ABNT, 1984). Os ensaios de compactação foram realizados com o amparo da ABNT NBR 7182:2016 - Solo – Ensaio de compactação (ABNT, 2016), onde buscou a execução da compactação dos materiais nos corpos de prova (CP) para elaboração da curva de compactação e também do ISC.

3.2.4 Ensaios para caracterização dos resíduos da construção e demolição

Para as amostras dos RCDs foi executado o ensaio de granulometria de acordo com a ABNT NBR 7181:2016 - Solo - Análise granulométrica (ABNT,2016). A Figura 7 apresenta os RCDs britados no britador de mandíbula da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Figura 7: Material britado no britador de mandíbula



Fonte: Autores

Conforme mostrado na figura acima, os RCDs provenientes do processo de britagem foram passados pelo processo de análise granulométrica para classificá-los de acordo com a norma vigente.

3.2.5 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

O ISC é especificado de acordo com a ABNT NBR 9895:2016 - Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio (ABNT, 2016), onde busca-se medir a resistência a penetração da amostra de solo em análise, além de obter o índice de expansão do material sob imersão em 96 horas.

Para a determinação da umidade ótima ($W_{ót}$) e o peso específico aparente seco máximo (γ_{dmax}), foram executados ensaios de compactação. Neste ensaio foi adotado os procedimentos com amostras de solo não trabalhadas, considerando a energia de Proctor Modificada de acordo com a ABNT NBR 7182:2016 – Solo – Ensaio de compactação, (ABNT, 2016).

A compactação dos CP executada com a energia Proctor Modificada, foi realizada em cinco camadas, aplicando 55 golpes em cada camada. Após compactados e virados de cabeça para baixo, no local do disco espaçador foi apoiado a haste de expansão e dois discos anelares com massa total de 4,54kg e então posicionado o extensômetro na borda superior do cilindro. Posteriormente os CP foram levados para imersão durante 96 horas e as leituras no extensômetro realizadas intervalos de 24 horas até completar as 96 horas solicitadas pela norma. A Figura 8 apresenta um CP após compactação imergido em água.

Figura 8: Corpo de prova em imersão após compactação



Fonte: Autores

Após o tempo de imersão dos CP e aferição da expansão, retirou-se da imersão e deixou-se escorrer a água por 15 minutos, ficando preparados para o ensaio de penetração.

O ensaio de penetração para o cálculo do ISC, consistiu em colocar cada CP individualmente junto com os discos anelares de 4,54kg no conjunto de pratos da

prensa e assentou-se sobre o material o pistão de penetração. Quanto ao ensaio, anotou-se a carga aplicada no anel dinamométrico e a penetração conforme especificação da ABNT NBR 9895:2016 – Solo – Índice de suporte Califórnia – Método de ensaio (ABNT, 2016). A Figura 9 apresenta a prensa utilizada para execução dos ensaios de penetração dos CP.

Figura 9: Prensa utilizada para execução do ISC



Fonte: Autores

Todos os resultados foram obtidos e anotados para posterior análise juntamente com as determinações das normas utilizadas.

3.3 Tratamento de dados

Com os resultados coletados nos ensaios de granulometria, LL, LP, massa específica, e ISC, utilizou-se de meios eletrônicos para auxiliar na criação dos gráficos resultantes dos ensaios.

Para a elaboração da curva da granulométrica dos materiais utilizados na pesquisa, os dados obtidos através do peneiramento e sedimentação, foram lançados em planilhas eletrônicas para a confecção do gráfico da curva granulométrica e também para estabelecer os percentuais de solo em cada faixa granulométrica.

O ISC foi calculado com base nos resultados obtidos com o ensaio de pressão-penetração nos CP. A aplicação dos resultados se deu através do peso específico aparente seco para chegar ao teor de umidade do solo compactado.

Para legitimar os valores dos parâmetros de umidade ótima, peso específico seco máximo, expansão e ISC dos materiais analisados, foram realizados seis ensaios de ISC, sendo três ensaios de ISC para amostra de solo e três ensaios para a mistura de solo-RCDs, submetidos à penetração após imersão de 96 horas. Dessa maneira, pôde-se realizar uma média aritmética dos ensaios para chegar aos valores da expansão e dos ISC das amostras.

O cálculo da massa específica aparente seca se dá pela equação 1:

$$\gamma_s = \frac{Ph \times 100}{V(100 + h)} \quad (1)$$

Onde:

γ_s = massa específica aparente seca, em g/cm³;

Ph = peso úmido do solo compactado, em g;

V = volume útil do molde cilíndrico, em cm³; e

h = teor de umidade do solo compactado, em %.

Para o teor de umidade do solo compactado emprega a equação 2:

$$h = \frac{Ph - P_s}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Ph = massa do material úmido;

P_s = massa do material seco.

O cálculo da expansão do material se faz pela equação 3 apresentada abaixo:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro}}{\text{altura inicial do corpo de prova}} \times 100 \quad (3)$$

A princípio para a obtenção do ISC deve-se traçar uma curva de pressão-penetração aplicada no pistão da prensa. Já o ISC é calculado através da equação 4:

$$ISC = \frac{\textit{Press\~ao calculada ou press\~ao corrigida}}{\textit{Press\~ao padr\~ao}} \times 100 \quad (4)$$

Onde adota-se o maior valor nas penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas.

Os resultados obtidos com o ISC foram comparados com as exigências de acordo com o Manual de Pavimentação DNIT (2006), dentre essas exigências para camadas de base devem apresentar $ISC \geq 80\%$, expansão $\leq 0,5\%$. Em casos de tempo de projeto com ocorrência de eixo-padrão $N < 5 \times 10^6$ os materiais podem apresentar $ISC \geq 60\%$ e expansão $\leq 0,5\%$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de caracterização dos materiais

4.1.1 Ensaio para as amostras de solo

Os dados de massa específica do solo e limites de Atterberg podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos limites de Atterberg e massa específica dos solos

Limite de Liquidez (LL)	0%
Limite de Plasticidade (LP)	0%
Massa específica do solo	2,408g/cm ³

Fonte: Autores

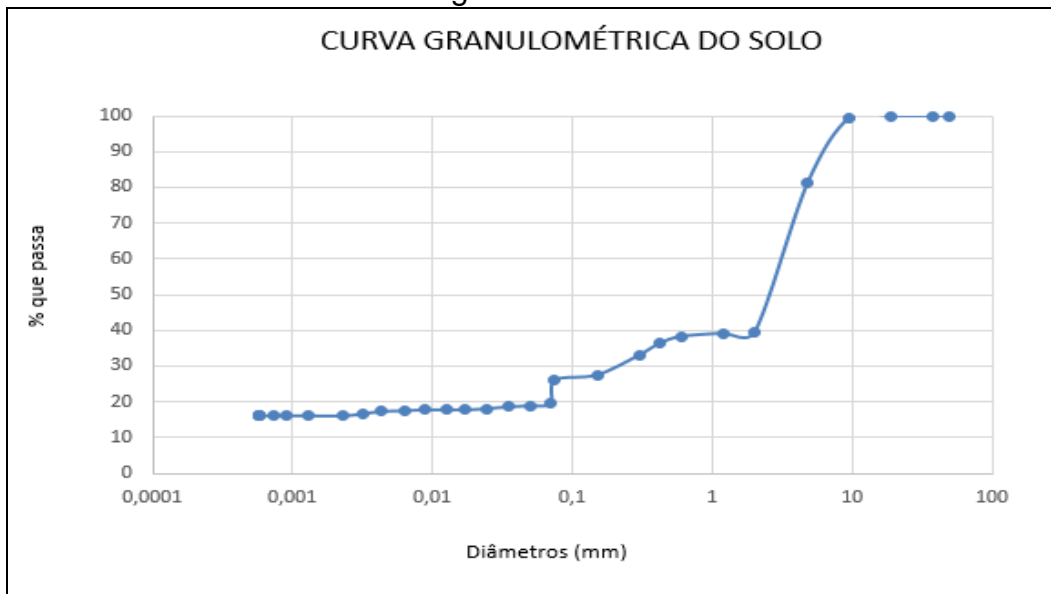
Os valores obtidos para a massa específica do solo foi de 2,408g/cm³ processada a partir dos dados obtidos pelos ensaios em laboratório.

Para os limites de consistência do solo, o mesmo não apresentou Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, por não apresentar coesão necessária para a realização dos ensaios devido a composição de suas partículas.

Segundo o DNIT (2006), para bases de pavimentos flexíveis os valores de LL precisam ser menores ou iguais a 25% e o LP menor ou igual a 6%, com esses parâmetros os limites de consistência atendem o estabelecido pela NBR 15115, para uso em camadas de pavimentos flexíveis.

A curva granulométrica do solo é retratada no Gráfico 1.

Gráfico 1: Análise granulométrica do solo natural



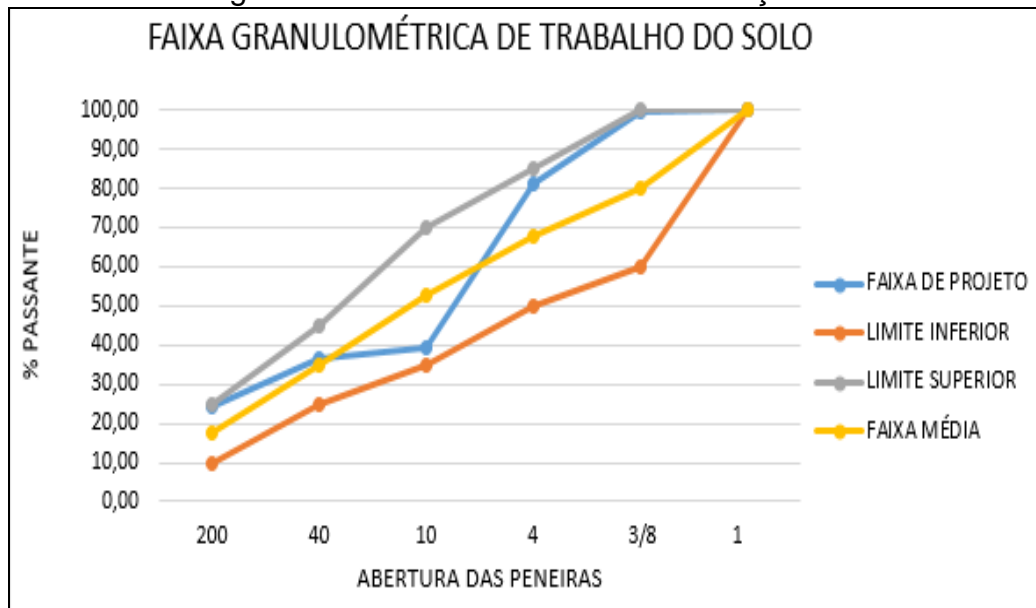
Fonte: Autores

O solo apresentou 60% de suas partículas classificadas como pedregulhos, sendo que sua maior fração de solo passou na peneira de 3" e ficou retida na peneira de dois milímetros. Por apresentar-se um solo com partículas de granulação grossa, a terminologia mais adequada para o solo é de pedregulho visto também que, nos ensaios de LL e LP onde não apresentou coesão adequada para a realização desses limites.

Buscando obter uma classificação mais precisa, foi utilizado o sistema TRB (*Transportation Research Board*) onde a mistura se enquadra no Grupo A-2 de subgrupo A-2-4.

A amostra de apresentou curva granulométrica enquadrada na faixa de trabalho D especificada pelo DNIT (2006) como pode ser observada no Gráfico 2.

Gráfico 2: Curva granulométrica do solo dentro da Fração D conforme DNIT

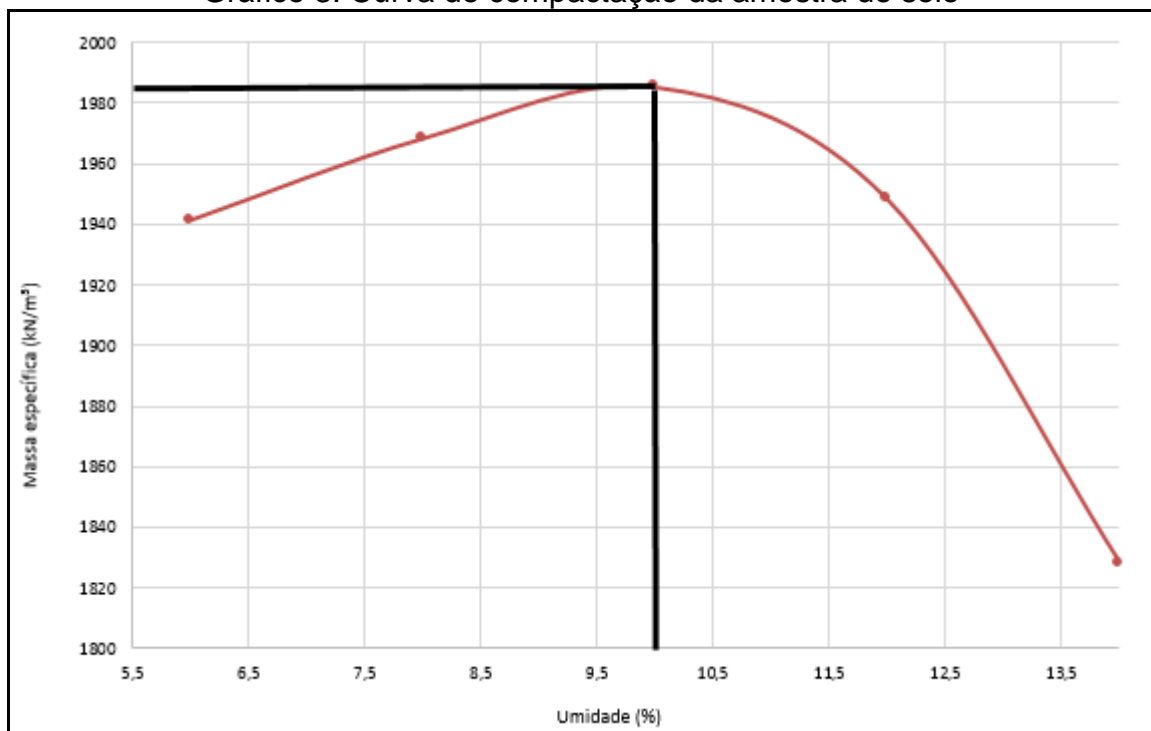


Fonte: Autores

O limite de trabalho apresentado pelo solo, tem como finalidade a aplicação do solo em determinado número de repetições para o eixo-padrão DNIT. Diante do encaixe nessa faixa de trabalho, a utilização desse solo é condicionada a pavimentos com um valor de $N \leq 5 \times 10^6$.

O Gráfico 3 apresenta os resultados da curva de compactação na energia Proctor Modificada e a massa específica da amostra de solo.

Gráfico 3: Curva de compactação da amostra de solo



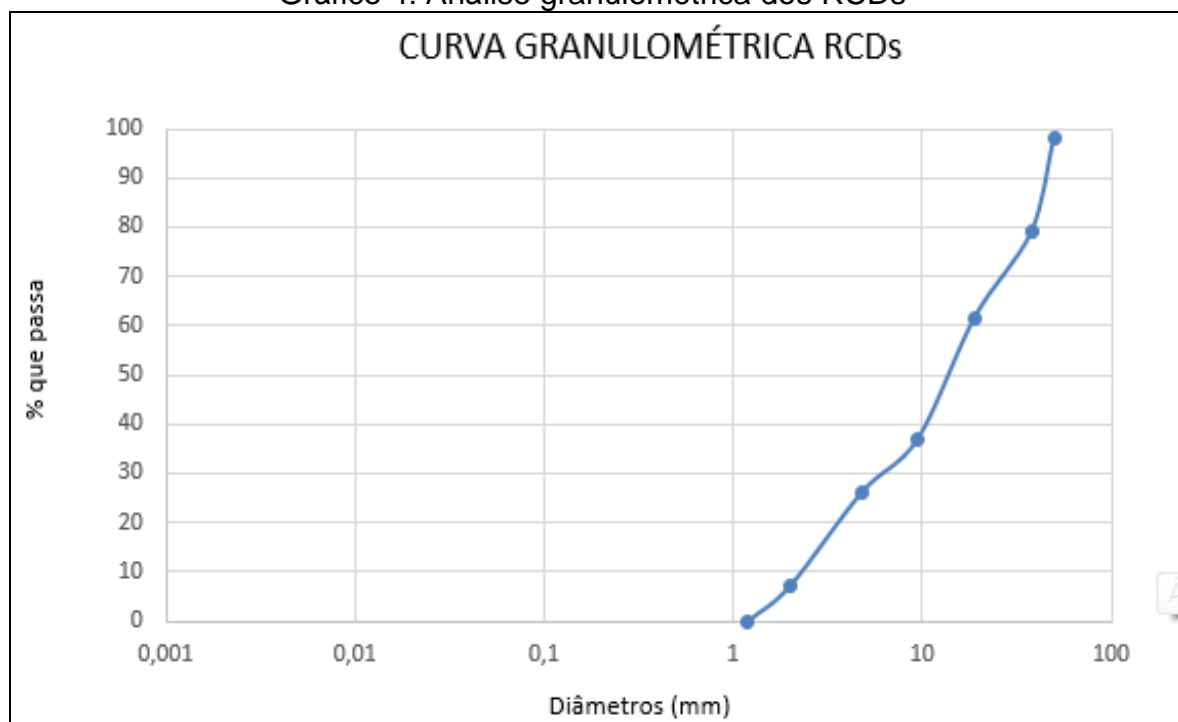
Fonte: Autores

Os valores de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima, para energia de Proctor Modificada são $\gamma_{dm,ax} = 1985 \text{ g/m}^3$ e $W_{ót} = 10\%$ respectivamente. Para a execução do ensaio de ISC, as compactações das amostras de solo foram trabalhadas na $W_{ót} = 10\%$.

4.1.2 Ensaio para a amostra dos resíduos

O ensaio de granulometria dos RCDs é representado no Gráfico 4 a seguir.

Gráfico 4: Análise granulométrica dos RCDs



Fonte: Autores

Os RCDs analisados são classificados como pedregulhos, sendo que o maior percentual está presente entre as peneiras 3/4 e a N^o4 (19 mm e 4,76 mm), podendo classificar sua granulometria como a mesma de um cascalho.

Examinando a curva granulométrica dos RCDs no Gráfico 3, é possível observar uma insuficiência de materiais finos. De uma maneira geral, a justificativa para a ausência de materiais finos deve-se ao fato da produção dos RCDs ter utilizado apenas a britagem primária, por meio do uso do britador de mandíbulas e peneiramento para retirada das partículas passantes na peneira 2,0 mm.

4.2 Resultados do Índice de Suporte Califórnia

4.2.1 Resultados do Índice de Suporte Califórnia do Solo

Os valores de ISC e expansão dos CP obtidos através dos ensaios são apresentados a seguir na Tabela 2.

Tabela 2: Índice de Suporte Califórnia obtidos com as amostras de solo

Corpo de prova	CP 1	CP 2	CP 3
ISC da amostra	23,9%	21,88%	14,76%
Expansão	0,29%	0,31%	0,34%

Fonte: Autores

Como apresentado na Tabela 2, a determinação do ISC da amostra de solo foi determinada pela média aritmética dos três valores obtidos pelos ensaios chegando a definição de 20,18% e a expansão final do material no total de 0,31%.

No caso analisado do solo, os resultados foram satisfatórios para a sua utilização em camadas de reforço do subleito, subleito e sub-base, pois os limites estabelecidos pelo DNIT (2006), impõem que para camadas de subleito os materiais constituintes devem atender aos parâmetros com $ISC \geq 2\%$ e sua expansão apresentar-se $\leq 2\%$. Para camadas de sub-base a especificação DNIT, determina que os materiais devem apresentar $ISC \geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$. As amostras de solo ainda atendem as exigências para qualquer número de determinações para eixo-padrão.

4.2.2 Resultados do Índice de Suporte Califórnia para a mistura solo-RCDs

Os valores de ISC e expansão dos CP compostos por 30% de RCDs e 70% de solo natural estão apresentados a seguir na Tabela 3.

Tabela 3: Índice de Suporte Califórnia obtidos com amostra de Solo-RCDS

Corpos de prova	CP 1	CP 2	CP 3
ISC da amostra	53,21%	57,57%	58,21
Expansão	0,37%	0,37%	0,43%

Fonte: Autores

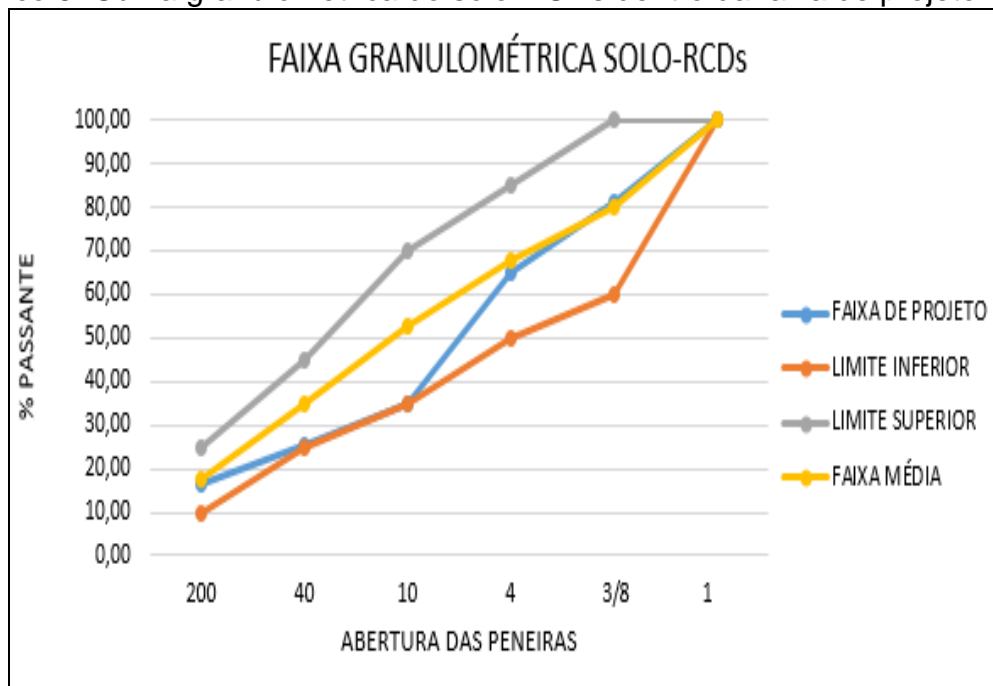
Conforme mostrado na Tabela 3, a determinação do ISC da amostra de solo-RCDs foi determinada pela média aritmética dos três valores obtidos pelos ensaios chegando a definição de 56,33% e a expansão média do material no total de 0,39%.

Comparando esses resultados com os determinados pelo DNIT (2006), os valores de ISC e expansão para a amostra de solo-RCDs podem servir para reforço do subleito, subleito e sub-bases de pavimentos asfáltico flexíveis. Para camadas de pavimentos a mistura de solo-RCDs apresentou granulometria adequada, mas o ISC da amostra não foi suficiente para uma utilização nas camadas de base em qualquer número de eixo-padrão.

4.2.3 Comparação dos resultados obtidos com amostras de solo e com a mistura solo-RCDs

Quando analisados em conjunto, a curva granulométrica da mistura solo-RCDs, atende os limites do DNIT (2006) para a faixa de trabalho D, o que permite seu emprego onde o número de repetições do eixo-padrão for $N \leq 5 \times 10^6$.

Gráfico 5: Curva granulométrica do solo-RCDs dentro da faixa de projeto DNIT



Ao adicionar os RCDs na amostra de solo, há uma melhora significativa de seus resultados geotécnicos, constados por meio do ISC da amostra de solo-RCDs. A tabela 4 a seguir apresenta um comparativo entre as duas amostras de materiais trabalhadas.

Tabela 4: Comparação do Índice de Suporte Califórnia das amostras

Resultados	Solo natural	Solo-RCDs	Varição
------------	--------------	-----------	---------

ISC da amostra	20,18%	56,33%	36,18%
Expansão	0,38%	0,39%	0,01%

Fonte: Autores

Com a adição de 30% de RCDs no solo, pode-se perceber que houve um crescimento nos valores do ISC saltando de 20,18% para 56,33%, sendo este ganho de 36,18%.

Essa variação se deu através da estabilização granulométrica realizada pela mistura de duas granulometrias distintas. Conforme apresentado no Gráfico 5 anteriormente, os resultados granulométricos quando comparados entre si criaram uma curva de granulometria mal graduada.

Diante dessa condição, a fração dos RCDs na composição da mistura solo-RCDs, produziram uma amostra de material de maior estabilidade granulométrica, quando comparados a amostra de solo natural.

5 CONCLUSÃO

O solo e a mistura de solo-RCDs analisados, apresentam características para sua utilização em camadas de subleito, reforço do subleito e sub-base de camadas de pavimento asfálticos flexíveis. O ISC e a expansão identificada pelas amostras dos materiais levam a essa conclusão.

Salientamos que a mistura contendo 30% de RCDs e 70% de amostra de solo, proporcionou um aumento significativo em 36,18% do ISC melhorando as condições originais do solo, já a expansão não foi alterada consideravelmente. Para trabalhos futuros, a adição de porções maiores de RCDs nas misturas de solo, pode apresentar ganhos maiores de resistência proporcionando a utilização do mesmo em camadas de base de pavimento asfáltico flexíveis.

REFERÊNCIAS

ABDOU, Moisés Ribeiro; BERNUCCI, Liedi Légi Bariani. *Pavimento ecológico: uma opção para a pavimentação de vias das grandes cidades*. Universidade de São Paulo. CNPQ – São Paulo, SP, 2006.

ANDRADE, Lucas Rodrigues. *Comparação do comportamento de pavimentos asfálticos com camadas de base granular, tratada com cimento e com estabilizantes asfálticos para tráfego muito pesado*. 2017. 179 p. Dissertação de mestrado. Engenharia de Transportes. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. São Paulo – SP, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR10004: *Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

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

_____. NBR 7181: *Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7208: *Materiais betuminosos para pavimentação – Terminologia*. Rio de Janeiro, 2004.

_____. 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 6508: *Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 7182: *Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 9895: *Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 2016.

BAGATINI, Felipi. *Resíduos de construção civil: aproveitamento como base e sub-base na pavimentação de vias urbanas*, Dissertação de graduação em engenharia civil. Universidade do Rio Grande do Sul – UFRS. Porto Alegre, RS, 2011.

BERNUCCI, Liegi Bariani, AUTOR. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. 3 ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA. 2006. p. 40.

BIANCHI, Flávia Regina; BRITO, Isis Raquel Tacla; CASTRO, Verônica Amanda Brombley. *Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível*. 1 ed. Associação de Ensino Superior Unificado do centro Leste. – Serra, ES. 2008, p. 16.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (2010). *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1988; e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002.

BRASILEIRO, Luzana Leite; MATOS, José Milton Elias. *Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil*. Cerâmica. 61 (358), 178-189. Centro de Tecnologia - CT, Centro de Ciências da Natureza - CCN, Departamento de Química, *Universidade Federal do Piauí, Teresina - PI*.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, *Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?* 1 Ed. – Brasília. CNT, 2017. 160 p.

COSTA, Matheus. *A Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil no Distrito Federal*. Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília. Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental. Planaltina - DF, 2015.

CUNHA, Nelma Almeida. *Resíduos da construção civil, análise de usinas de reciclagem*. 2007. 187 p. Dissertação. Edificações. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas – SP, 2007.

DA SILVA, Otavio Henrique; UMADA, Murilo Keith; POLASTRIS, Paula; ANGELIS NETO, Generoso; ANGELIS, Bruno Luiz Domingos; MIOTTO, José Luiz. *Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil*. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Ed. Especial GIAU-UEM, Maringá – PR Santa Maria, v. 19, 2015, p. 39 - 48 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM*.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, *Manual de Pavimentação*, IPR/DNIT/ABNT, Publicação 719, Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

_____. *NORMA DNIT 172/2016 - Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio*. Rio de Janeiro: IPR, 2016.

FORTES, Rita Moura. *Técnicas de Construção de Pavimentos - Sub-Bases e Bases - Programa de Pós-graduação da Universidade Federal do Amazonas – UFAM*. Manaus – AM, 2015.

FREITA, Carolina Larissa Vasconcelos; SANTOS, Vivianni Marques Leite; SANTOS JR, José Edilson; SILVA, Thaianne Carla Carvalho. *Reciclagem de resíduos de construção e demolição: um estudo de caso na usina de beneficiamento de resíduos*

de Petrolina-PE. Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 93-109, jan. / abr. 2016.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. *Métodos de Pesquisa*. Editora da UFRGS, 2009. Porto Alegre, 2009. P. 120.

GODOI, Luciane de. *Estudo do comportamento dos ligantes asfálticos utilizados na imprimação asfáltica relacionados à emissão de voc's*.

HILÁRIO, Ronderson Queiroz. *Uso de pavimento reciclado adicionado com cimento para uso como reforço de base para rodovias: estudo de caso: BR-120*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Ouro Preto – MG, 2016.

HORTEGAL, Mylane Viana, FERREIRA, Thiago Coelho, SANT'ANA, Walter Canales. *Utilização de agregados resíduos sólidos da construção civil para pavimentação em São Luiz – MA*. Departamento de Impressões Gráficas e Transportes, Universidade Estadual do Maranhão. São Luiz - MA, v. 17, n.2, p. 60-74, 2009.

OLIVEIRA FILHO, Gilberto Nabor. *Separação de resíduos sólidos no canteiro de obras: um estudo do caso*. Monografia. Construção civil. Universidade Tuiuti do Paraná. Faculdade de Engenharia Ambiental. Curitiba – PR, 2011.

PIMENTEL, Ubiratan Henrique Oliveira. *Análise da geração de resíduos da construção civil da cidade de João Pessoa/PB*. 2013. 190 p. Dissertação de mestrado. Pavimentação. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Arquitetura. Salvador – BA, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TEÓFILO OTONI. *Lei municipal Nº4255/98*. Código de Vigilância Sanitária. Promulgada em 18 de abril de 1988. Teófilo Otoni. Câmara Municipal, 1998.

RODRIGUES, Raphaela Merhi. *Gestão de resíduos da construção civil*. 2013. 80p. Monografia. Construção Civil. Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia. Juiz de Fora – MG, 2013.

RODRIGUEZ, Jose Luiz Azevedo. *Conceção de pavimentos rígidos*. Dissertação de mestrado. Universidade de Engenharia – FEUP, Porto – Portugal, 2011.

SANTOS, Claudiomir Souza. *Conservação ambiental*. 1 ed. Instituto Federal de Muzambinho. Muzambinho – MG. 2016, p. 6.

SERVIÇO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *Gestão de resíduos na construção civil: redução, reutilização e reciclagem*. 1. Ed. Salvador, 2007. v. 1, 80p.

SOUSA, Renan Ravian Neco. *O pavimento de concreto nas cidades*. Dissertação de graduação em engenharia civil. Universidade Federal do Piauí – UFPI, Teresina – PI, 2014.