

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - CAMPUS SANTA LUZIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Marcus Vinícius da Costa Arruda

**AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS CAMADAS
ESTRUTURAIS DA PAVIMENTAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA OCUPAÇÃO
ESPERANÇA EM BELO HORIZONTE/MG**

Santa Luzia

2023

Marcus Vinícius da Costa Arruda

**AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS CAMADAS
ESTRUTURAIS DA PAVIMENTAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA OCUPAÇÃO
ESPERANÇA EM BELO HORIZONTE/MG**

Plano de trabalho apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Santa Luzia para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Ma. Janaína Aguiar Park.

Coorientador: Leandro Alves Evangelista.

Santa Luzia

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A779a Arruda, Marcus Vinícius da Costa.

Avaliação do uso de resíduos da construção civil nas camadas estruturais da pavimentação: estudo de caso da Ocupação Esperança em Belo Horizonte/MG / Marcus Vinícius da Costa Arruda. – Santa Luzia, 2023.

53 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Santa Luzia, Bacharelado em Engenharia Civil, 2023.
Orientadora: Profa. Ma. Janaína Aguiar Park.

1. Construção civil. 2. Indústria da construção civil - Eliminação de resíduos. 3. Pavimentos. 4. Reaproveitamento (sobras, refugos, etc.). 5. Ocupação Esperança (Belo Horizonte). I. Park, Janaína Aguiar, orient. II. Título.

CDU: 69



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

Campus Santa Luzia
Diretoria de Ensino, Pesquisa e Extensão
Docência Eixo Sustentabilidade e Questões Ambientais- SQA (Urbanismo, Geografia, Transportes, Paisagem e Meio Ambiente)
Rua Érico Veríssimo, 317 - Bairro Londrina - CEP 33115-390 - Santa Luzia - MG
3136343910 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DO TCC

ATA DE AVALIAÇÃO DE TCC

Aos vinte e sete dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e três, às 14 horas, se reuniu virtualmente a banca composta pela Profa. JANAINA AGUIAR PARK (orientadora), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Santa Luzia; Eng. LEANDRO ALVES EVANGELISTA (coorientador), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Santa Luzia; Profa. PRISCILA DE SOUZA MACIEL (avaliadora externa), Instituto Federal de Alagoas; Prof. DANIEL AUGUSTO DE MIRANDA (avaliador interno), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Santa Luzia, para avaliar o Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil intitulado AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS CAMADAS ESTRUTURAIS DA PAVIMENTAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA OCUPAÇÃO ESPERANÇA EM BELO HORIZONTE/MG, apresentado pelo discente MARCUS VINÍCIUS DA COSTA ARRUDA. Após apresentação e arguição, considera-se o estudante APROVADO COM NOTA 68,0. O estudante, terá o prazo de 7 dias para realizar as correções sugeridas pela banca e enviar a versão final à orientadora, para que possa ser anexada ao processo do SEI, sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade da orientadora. O não envio da versão final corrigida implicará na impossibilidade de solicitação do diploma por parte do discente. Nada mais havendo a tratar a defesa foi encerrada às 15 horas e 40 minutos e eu, JANAINA AGUIAR PARK lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os membros da banca e pelo estudante.

Santa Luzia, 27 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Janaina Aguiar Park, Professora**, em 27/02/2023, às 15:45, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Augusto de Miranda, Professor**, em 27/02/2023, às 15:46, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Alves Evangelista, Técnico de Laboratório Edificações**, em 27/02/2023, às 15:47, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Priscila de Souza Maciel, Usuário Externo**, em 27/02/2023, às 15:48, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcus Vinícius da Costa Arruda, Usuário Externo**, em 27/02/2023, às 15:49, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1470084** e o código CRC **CD561C1B**.

23716.000342/2023-63

1470084v1

Marcus Vinícius da Costa

**AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS CAMADAS
ESTRUTURAIS DA PAVIMENTAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA OCUPAÇÃO
ESPERANÇA EM BELO HORIZONTE/MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto
Federal de Minas Gerais - Campus Santa Luzia
para obtenção do grau de bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof.^a Ma. Janaína Aguiar Park.

Coorientador: Eng. Leandro Alves Evangelista.

Aprovado em: ____ / ____ / _____ pela banca examinadora:

Prof. Ma. Janaína Aguiar Park- IFMG Santa Luzia

Prof. Dr. Daniel Augusto de Miranda - IFMG Santa Luzia

Prof. Ma. Priscila de Souza Maciel – IFAL/ AL

RESUMO

O setor da construção civil, além de gerar aproximadamente 60% dos resíduos sólidos urbanos, é responsável pela disposição irregular dos resíduos da construção civil de forma insustentável, mesmo após a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2 de agosto de 2010. Dado a expressiva capacidade de reciclagem dos resíduos da construção civil (RCC), tem-se no reaproveitamento dos mesmos uma oportunidade de evitar a escassez de recursos naturais. Este trabalho de conclusão de curso tem como finalidade avaliar o reaproveitamento de RCC nas camadas estruturais da pavimentação, mais precisamente, na base e sub-base do pavimento, tendo como estudo de caso a Avenida Esperança, uma via não pavimentada situada na Ocupação Esperança, no município de Belo Horizonte/MG. O plano de trabalho foi elaborado em três fases, com a revisão literária norteando as fases constituintes deste trabalho. A primeira fase consistiu na coleta de amostras de brita 01 e brita 0 de RCC da estação de reciclagem de Belo Horizonte/MG e coleta de amostra de solo da própria Av. Esperança. Na segunda fase, as amostras de solo foram submetidas a ensaios de Granulometria, Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) para caracterização. Na terceira fase, foi elaborada uma mistura de 40% de solo e 60% de RCC, sendo 30% de brita 01 e 30% de brita 0, e moldado dois corpos de prova para ensaios de expansibilidade e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Os resultados mostraram que o uso do agregado reciclado na proporção avaliada é uma alternativa viável do ponto de vista técnico para o emprego em sub-base da pavimentação da Av. Esperança, mas não como material de base, devido ao fato de não tendo atingido a resistência necessária.

Palavras-chave: Construção Civil, Pavimentação, RCC, Reaproveitamento.

ABSTRACT

The civil construction sector generates approximately 60% of urban solid waste and is responsible for the irregular disposal of Construction and Demolition Waste (CDW) in an unsustainable manner, even after the implementation of the National Solid Waste Policy on August 2nd. Given the high recycling potential of CDW, its reuse is an opportunity to avoid the scarcity of natural resources. Thus, this study aims to evaluate the reuse of CDW in the structural layers of the paving, more specifically, in the base and sub-base of the pavement of Avenue Esperança, a case study of an unpaved avenue located in Ocupação Esperança, in the city of Belo Horizonte/MG. The work plan was elaborated in three phases, with the literary review serving as the study base for the constituent phases of this work. The first phase consisted of collecting samples of gravel 01 and gravel 0 of CDW from a recycling station in Belo Horizonte/MG and the collection of soil samples from Avenue Esperança. In the second phase, the soil samples were submitted to tests of Granulometry, Limit of Liquidity (LL) and Plastic Limit (PL) in order to be characterized. In the third phase, a mixture of 40% soil and 60% CDW composed of 30% gravel 01 and 30% gravel 0 was prepared, and two test specimens were carried out for the realization of Expansion tests and California Bearing Ratio Index (CBR). Although they did not reach the necessary resistance to be used as a base material, our results showed that the use of recycled aggregates in the adequate amount is a viable alternative from a technical point of view in the sub-base of the paving of Avenue Esperança.

Keywords: Civil Construction, Pavement, RCC, Reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Distribuição de camadas dos pavimentos flexíveis, semirrígidos e rígidos	16
Figura 02 - Processo de reciclagem de RCC	18
Figura 03 - Localização IFMG x Avenida Esperança	21
Figura 04 - Voçoroca paralela à Avenida Esperança.....	24
Figura 05 - Fluxograma	23
Figura 06 - Localização CTRS x Avenida Esperança	24
Figura 07 - Equipamento de reciclagem	25
Figura 08 - Brita 0 e brita 1 recicladas	25
Figura 09 - Coleta de amostra de solo da Av. Esperança	27
Figura 10 - Mistura de agregado de RCC e solo coletado da Av. Esperança	31
Figura 11 - Limite de Liquidez da Amostra I	32
Figura 12 - Limite de Liquidez da Amostra II	33
Figura 13 - Curva Granulométrica da Amostra I	36
Figura 14 - Curva Granulométrica da Amostra II	37
Figura 15 - Curva de Compactação da Amostra I.....	38
Figura 16 - Curva de Compactação da Amostra II.....	39
Figura 17 - Gráfico ISC ponto I	42
Figura 18 - Gráfico ISC ponto II	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Cálculo do Limite de liquidez da Amostra I	32
Tabela 02 -	Limite de liquidez da Amostra II.....	33
Tabela 03 -	Cálculo do Limite de plasticidade da Amostra I	34
Tabela 04 -	Cálculo do Limite de plasticidade da Amostra II	34
Tabela 05 -	Índice de Plasticidade.....	35
Tabela 06 -	Cálculo da umidade higroscópica da Amostra I	35
Tabela 07 -	Cálculo da umidade higroscópica da Amostra II	35
Tabela 08 -	Cálculos do ensaio de granulometria por peneiramento da Amostra I	36
Tabela 09 -	Cálculos do ensaio de granulometria por peneiramento da Amostra II	37
Tabela 10	Umidade x Massa específica Amostra I	38
Tabela 11 -	Umidade x Massa específica Amostra II	39
Tabela 12 -	Relógio comparador (Deflectômetro) - Amostra I	40
Tabela 13 -	Relógio comparador (Deflectômetro) - Amostra II.....	40
Tabela 14 -	ISC da Mistura I.....	42
Tabela 15 -	ISC mistura solo ponto II.....	43

LISTA DE SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON- Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos
CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CCP - Concreto de Cimento Portland
CIB - Conselho Internacional da Construção
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTRS - Central de Tratamento de Resíduos sólidos
Cu - Coeficiente De Uniformidade
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IFMG - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais AEIS
IP – Índice de Plasticidade
IPR - Instituto de Pesquisas em Transportes
ISC – Índice de Suporte Califórnia
LL- Limite de Liquidez
LP- Limite de Plasticidade
MPa – MegaPascal
NBR- Norma Brasileira
PBH - Prefeitura de Belo Horizonte
PGRCC - Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PIB - Produto Interno Bruto
PNRS- Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC- Resíduos Construção Civil
SUDECAP - Superintendência de Desenvolvimento da Capital
URBEL - Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	JUSTIFICATIVA	11
3.	OBJETIVOS	13
3.1	Objetivo geral	13
3.2	Objetivos específicos	13
4.	REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1	Resíduos da Construção Civil	14
4.2	Pavimentação	15
4.2.1	Uso de RCC na pavimentação	17
4.2.2	Requisitos técnicos para aplicação de RCC na base e sub-base da pavimentação em substituição aos agregados naturais (brita)	19
4.3	Ocupação Esperança	20
5.	METODOLOGIA	23
5.1	Estações de reciclagem de RCC	24
5.2	Visita a Ocupação Esperança	26
5.3	Estudo de caracterização do solo	27
5.4	Mistura de agregado de RCC e solo coletado	30
6.	RESULTADOS	32
6.1	Estudo Característico do solo	32
6.2	Análise da mistura RCC - solo local	39
6.3	Análise dos Resultados	43
7.	CONCLUSÃO	46
8.	REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da construção civil responde por aproximadamente 5% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, sendo um dos principais componentes do investimento nacional da economia (CBIC, 2021). Estima-se que o setor é o que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva (CIB, 2021). Materiais alternativos, como RCC, vêm sendo estudados a fim de avaliar o seu comportamento em diferentes proporções em substituição parcial aos agregados naturais convencionalmente utilizados pela construção civil.

O Brasil gera mais de 100 milhões de toneladas de RCC, porém, apenas 16% desses resíduos são destinados adequadamente (ABRECON, 2022). O reaproveitamento desses RCC oriundos da construção civil estimula a redução de impactos ambientais gerados através do descarte incorreto destes, e também a redução do consumo de matérias primas de origem natural.

Considerando que todo RCC gerado do país fosse reciclado em um único dia, ressalta-se que 98% dele seria reciclável. Essa quantidade toda produzida poderia ajudar na construção de 2.134 Estádio de futebol com as dimensões do estádio Jornalista Mário Filho, mais conhecido como Maracanã, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER, 2019).

De acordo com Almeida (2018), a utilização de RCC para pavimentação pode ser tecnicamente viável e trazer benefícios ambientais e econômicos. Normalmente, esse aproveitamento é indicado para locais de tráfego leve, como no caso de vias urbanas locais.

Neste trabalho, o reaproveitamento de RCC é estudado para composição das camadas estruturais de pavimentação tendo como estudo de caso a Avenida Esperança, via principal da Ocupação Esperança, localizada na região de Izidora, no vetor norte do município de Belo Horizonte, identificada por apresentar um volume de tráfego leve. A região é marcada pela carência de acesso a serviços e infraestrutura básicas, logo o trabalho poderia contribuir para a busca de soluções no âmbito da pavimentação local.

2. JUSTIFICATIVA

A construção civil é um dos segmentos mais importantes da indústria brasileira, vista como um fator de crescimento econômico, porém essa atividade também constitui uma das grandes fontes geradoras de impactos ambientais (PINTO, 2005 apud KARPINSKI et al., 2009). Em 2020, no Brasil, foram registradas 131.809 mil empresas no setor de construção, com 1.977.927 milhões de pessoas ocupadas, totalizando mais de R\$ 315 milhões pagos em salários, remunerações e retiradas (IBGE, 2021).

Elevado consumo de recursos naturais, alterações no paisagismo das cidades, e alto potencial gerador de resíduos, são alguns dos problemas diagnosticados. Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, o setor é responsável por consumir 75% dos recursos naturais extraídos (CBCS, 2021).

Em conformidade com os problemas relatados, corrobora a carência de locais de descarte apropriado desses resíduos, a falta de informação da população no âmbito de suas responsabilidades e a fiscalização ineficaz dos municípios, que futuramente acabam por arcar com o ônus da remoção dos RCC alojados em locais impróprios (PINTO, 1999).

Considerando as consequências geradas pela produção de RCC e o volume recolhido desse material pelos municípios brasileiros em 2019 - 44,5 milhões de toneladas de RCC (ABRELPE, 2020), sendo esse número aproximadamente 34% superior ao que foi coletado em 2010, o estudo feito por Pimenta (2017) expõe que mais de 90 % dos resíduos oriundos da construção civil podem, de algum modo, ser reaproveitados, sendo introduzidos novamente no ambiente.

O reaproveitamento de RCC pode contribuir economicamente através da redução dos custos atrelados a remoção de RCC dos lugares inapropriados, além de reduzir a extração de recursos naturais para as obras de construção civil. No Município de Belo Horizonte por dia são recolhidas 380 toneladas de resíduos sólidos provenientes de deposição clandestina (PBH, 2022). Tomando como referência a tabela mensal de preços unitários para serviços de construção e consultoria da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP) e o volume diário de resíduos recolhidos pela PBH, estima-se que a PBH gasta mais de 1,5 milhões/diário

com o recolhimento manual e transporte destes resíduos depositados em locais clandestinos (SUCEDAP, 2022).

Com base no que foi descrito acima e atrelado à necessidade de infraestrutura urbana, principalmente em áreas de menor investimento governamental como a Ocupação Esperança, discute-se a respeito do emprego dos RCC na construção civil e como os mesmos podem ser reaproveitados nas camadas estruturais do pavimento, já que grandes parcelas desses materiais já estão sendo empregados como materiais alternativos, destacando-se na utilização como agregados (BALBO, 2007).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de RCC quanto à viabilidade técnica e sustentável na composição das camadas estruturais da pavimentação, tendo como estudo de caso a Av. Esperança, principal via da Ocupação Esperança, no município de Belo Horizonte/MG.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar estações de reciclagem de RCC próximo ao local de estudo e realizar visita técnica para coletar amostras;
- Realizar estudo de caracterização do solo local;
- Avaliar a capacidade de suporte de carga da mistura de RCC com o solo local para uso nas camadas estruturais do pavimento.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)

O RCC é descrito pela Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como material proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de construção civil, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002).

Posto que os resíduos oriundos das atividades do setor da construção civil podem ser de inúmeras naturezas, faz-se necessária a distinção dos mesmos de acordo com suas respectivas peculiaridades, de modo que seja atribuída a destinação correta e útil dos RCC produzidos. Logo, tem-se a seguinte classificação, ainda segundo a resolução do CONAMA (2002):

- a) Classe A: Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura;
- b) Classe B: Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- c) Classe C: Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- d) Classe D: Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições.

Essa resolução também estabelece que deva existir um plano de gerenciamento nos municípios que responsabilize o poder público, geradores e transportadores desses materiais. Todo empreendimento gerador de RCC deve elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), que deve ser objeto de análise da Secretaria Municipal de Meio Ambiente dentro do processo de Licenciamento Ambiental do Empreendimento (SUDECAP, 2020).

No que tange aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, no Brasil a norma NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos entre as

classes I, II, IIA e IIB. Os RCC são classificados na classe II que engloba os materiais de entulhos que, embora não sejam produtos inflamáveis, podem ser combustíveis.

As diversas possibilidades de inserção do RCC na indústria civil, através da reciclagem, permitem considerar que a construção civil é uma das mais influentes atividades relacionadas ao desenvolvimento econômico e social dos últimos tempos (NAGALLI, 2014). Devido a isso, a mesma deve apresentar uma menor taxa de agressão ao meio ambiente, buscando alternativas mais sustentáveis face ao crescimento dos centros urbanos. No Brasil, segundo a Abrelpe (2021), apenas 16% dos mais de 100 milhões de toneladas de RCC são reciclados. Ressalta-se que o setor da construção civil é identificado como um grande gerador de impactos ambientais, seja pelo consumo de recursos naturais, pela intervenção na paisagem ou pela má disposição dos resíduos gerados (LU & YUAN, 2011; BARROS, 2012; NAGALLI, 2014).

4.2 Pavimentação

Segundo DNIT (2006), pavimento é definido como estrutura formada por um sistema de camadas com diferentes espessuras de diversos materiais que apresentam as mais variadas características geotécnicas e de resistência. Para Souza (1980), esta estrutura assim constituída detém de um elevado grau de complexidade no que tange ao cálculo das suas tensões e deformações atuantes nas resultantes das cargas impostas pelo tráfego. Balbo (2007) cita que todos os componentes do pavimento devem funcionar de acordo com as deformações compatíveis com a natureza e capacidade de carga a que são submetidos, estando os mesmos sujeitos a fissuras ou danos prematuros e não intencionais. Em outras palavras, o pavimento deve resistir e distribuir ao subleito os esforços produzidos pelo tráfego proporcionando condições de segurança e conforto.

A estrutura de um pavimento constatada em DNIT (2006) é classificada de acordo com o seu comportamento mecânico em três categorias:

- Flexível: Balbo (2017) define como flexível o pavimento que comporta um revestimento betuminoso, cujos materiais utilizados são o asfalto, formando a camada de revestimento, um material granular que compõe a base e outro material granular que forma a sub-base.

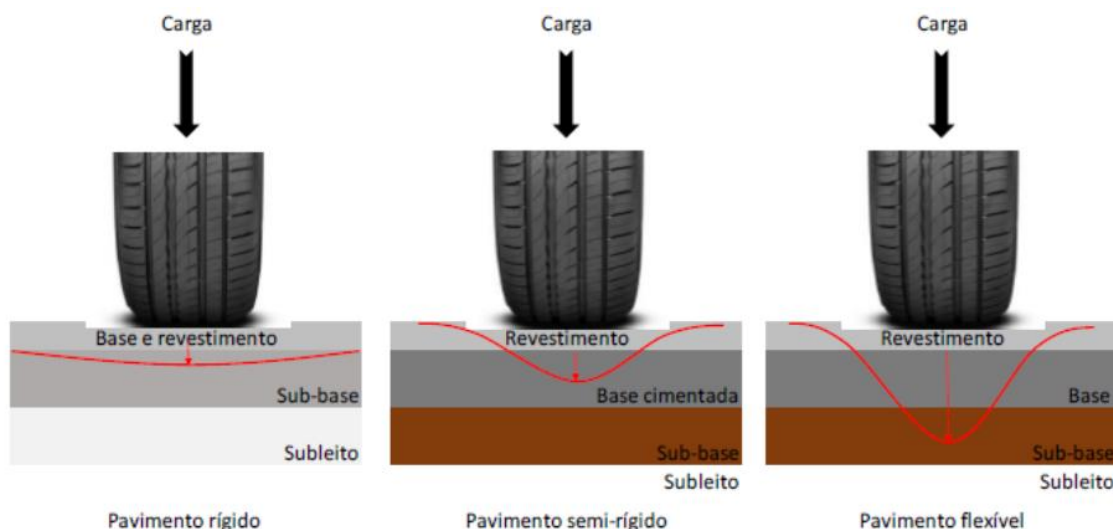
- Semirrígido caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica (IPR, 2006).

- Rígido: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (IPR, 2006). Compostos de um revestimento constituído por placas de Concreto de Cimento Portland (CCP). Estes pavimentos são mais rígidos que os pavimentos flexíveis, devido ao elevado Módulo de Elasticidade do CCP (ABCP, 2009).

A distribuição das camadas para as diferentes estruturas de pavimento é ilustrada na Figura 01, e definida por Senço (2007) da seguinte maneira:

- Revestimento: a camada que recebe diretamente os esforços do tráfego;
- Base: de fato, a base tem como princípio resistir aos esforços verticais provenientes do tráfego de veículos e distribuí-los até as camadas inferiores, não afetando a estrutura do projeto;
- Sub-base: a camada construída acima do reforço do subleito, e também a camada complementar à base, em casos por circunstâncias técnicas, não é aconselhado a construir a base diretamente sobre o reforço do subleito ou sobre o subleito em si;
- Reforço do subleito: uma camada construída acima do subleito, se necessário, de espessura constante, com características superiores ao encontrado no subleito e inferiores ao encontrado na camada superior, a sub-base;
- Subleito: é o terreno natural e de fundação para a estrutura do pavimento. Deve apresentar as características geométricas definitivas do projeto como inclinação de cada sentido da pista.

Figura 01: Distribuição de camadas dos pavimentos flexíveis, semirrígidos e rígidos



Fonte: Moura, 2011.

A distinção de um pavimento para o outro se faz pela distribuição de carga que cada um apresenta. Para o pavimento flexível no ponto de aplicação da carga as tensões ficam concentradas em suas proximidades, no pavimento rígido a distribuição de carga apresenta uniformidade ao longo do mesmo, e o semirrígido apresenta característica mediadora aos pavimentos flexível e rígido.

4.2.1 Uso de RCC na pavimentação

No Brasil, os agregados reciclados podem ser reaproveitados em diversas camadas do pavimento, conferindo resultados positivos e interessantes ao produto final. Os resíduos devem passar por um processo rígido de transformação em agregados, conforme ilustrado na Figura 2, para serem inseridos na construção civil, de modo que atendam às expectativas tanto na vida útil quanto no suporte de cargas e qualidade do pavimento.

Para serem inseridos na construção civil de modo que atendam às expectativas tanto na vida útil quanto no suporte de cargas e qualidade do pavimento, os resíduos sólidos devem passar por um procedimento de transformação em agregados que envolvem mudanças das propriedades físicas, conforme ilustrado na Figura 02. O processo inicia-se com a triagem, onde é feita uma separação das frações inorgânicas e não metálicas do resíduo.

A separação pode ser realizada manualmente, mecanizada ou magnética. Logo em seguida os materiais provenientes da separação mecanizada são encaminhados para trituração a fim de se fragmentar em porções menores. Terminado a trituração os resíduos prosseguem para o peneiramento para se converterem em agregado com a granulometria desejada e serem classificados de acordo com a dimensão dos seus grãos. Decorrido a classificação ocorre o empilhamento do material britado de acordo com sua granulometria.

A utilização de agregados reciclados de resíduos de construção na camada de base e na sub-base do pavimento, segundo Carneiro *et al.* (2001), foi um dos caminhos mais difundidos para a sua conclusão por apresentar inúmeras vantagens tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Tecnicamente, segundo Triches e Kryckj (1999), a utilização dos agregados reciclados é possível na pavimentação, pois os mesmos apresentam características não plásticas.

Segundo Zordan (1997), a utilização de RCC em pavimentação apresenta bom desempenho e proporciona vantagens, desde que seja utilizada em proporções ideais. Em seu estudo, adicionando 20% de RCC ao solo ocorreu um aumento de 100% do ISC, enquanto nas adições de brita natural o aumento do ISC só foi perceptível com dosagens a partir de 40%.

Silveira e Borges (2016) apresentaram a reutilização dos RCC em camadas estruturais de pavimentação. Os autores realizaram o estudo apenas com materiais na fração miúda, com três amostras de solo RCC, sendo: exclusivamente solo, 50% RCC + 50% solo e 30% RCC + 70% solo. Eles concluíram, com nos resultados laboratoriais, que a amostra de 50% solo + 50% RCC pode ser utilizada em sub-base para pavimentação a depender do tráfego.

4.2.2 Requisitos técnicos para aplicação de RCC na base e sub-base da pavimentação em substituição aos agregados naturais (brita)

Em 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou normas que regulamentam os RCC, as quais se destacam as normas NBR 15112:2004, NBR 15113:2004 e NBR 15115:2004. Esse conjunto de normas estabelece diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem, de aterros e de reciclagem de RCC e resíduos inertes e volumosos. Considera-se também a minimização de impactos como geração de poeira, ruído, drenagem, impermeabilização e outros causados pela circulação de diversos tipos de transportadores.

De acordo com a ABNT NBR 15115 (2004), no Brasil a camada de base e sub-base composta por agregado reciclado deve ser executada obedecendo as seguintes orientações técnicas:

a) Deve ser evitada a presença de madeiras, vidros, plásticos, gessos, forros, tubulações, fiações elétricas e papéis ou quaisquer materiais orgânicos ou não inertes, classificados como classe “B”, “C” e “D” pela Resolução CONAMA nº 307;

O agregado reciclado deve apresentar curva granulométrica, obtida por meio do ensaio da ABNT NBR 7181, bem graduada, não uniforme, com coeficiente de uniformidade $C_u \geq 10$ ($C_u = D_{60} / D_{10}$);

c) a porcentagem que passa na peneira 0,42mm (nº 40) deve ficar entre 10% e 40%;

d) os agregados reciclados devem ser classificados quanto ao tipo de emprego possível na execução de camadas de pavimentos, segundo parâmetros de ISC obtidos por meio do ensaio da ABNT NBR 9895, conforme abaixo discriminado:
— material para execução de reforço de subleito: CBR $\geq 12\%$, expansão $\leq 1,0\%$ (energia de compactação normal, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457);

— material para execução de sub-base: CBR $\geq 20\%$, expansão $\leq 1,0\%$ (energia de compactação intermediária, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457);
— material para execução de base de pavimento: CBR $\geq 60\%$, expansão $\leq 0,5\%$ (energia 25 de compactação intermediária, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457);

e) é permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 106$ repetições do eixo-padrão de 80KN no período de projeto.

A NBR 15115 (2004) também apresenta os equipamentos necessários para execução das camadas de base e sub-base, além de ressaltar procedimentos caso os materiais não atendam às exigências.

4.3 OCUPAÇÃO ESPERANÇA

A expansão urbana no Brasil foi marcada pela subsistência por parte da população carente implicando na ocupação de áreas, por vezes inadequadas para tal finalidade, fruto da dinâmica de ocupação e urbanização brasileira. Como em grande parte das cidades brasileiras, o município de Belo Horizonte se caracterizou por um acelerado e contínuo processo de urbanização, tanto em termos demográficos quanto espaciais. Estima-se que o município tem mais de 2,5 milhões de habitantes, ocupando a 5570ª posição comparando com outros municípios brasileiros (IBGE, 2022).

Ao norte de extensão urbana do município de Belo Horizonte/MG, na divisa com Santa Luzia, localiza-se a região da Izidora. No início dos anos 2010 parte dessa região começou a ser ocupada, fruto de movimentos populares, formando um complexo com 4 ocupações: Esperança, Vitória, Helena Greco e Rosa Leão. As

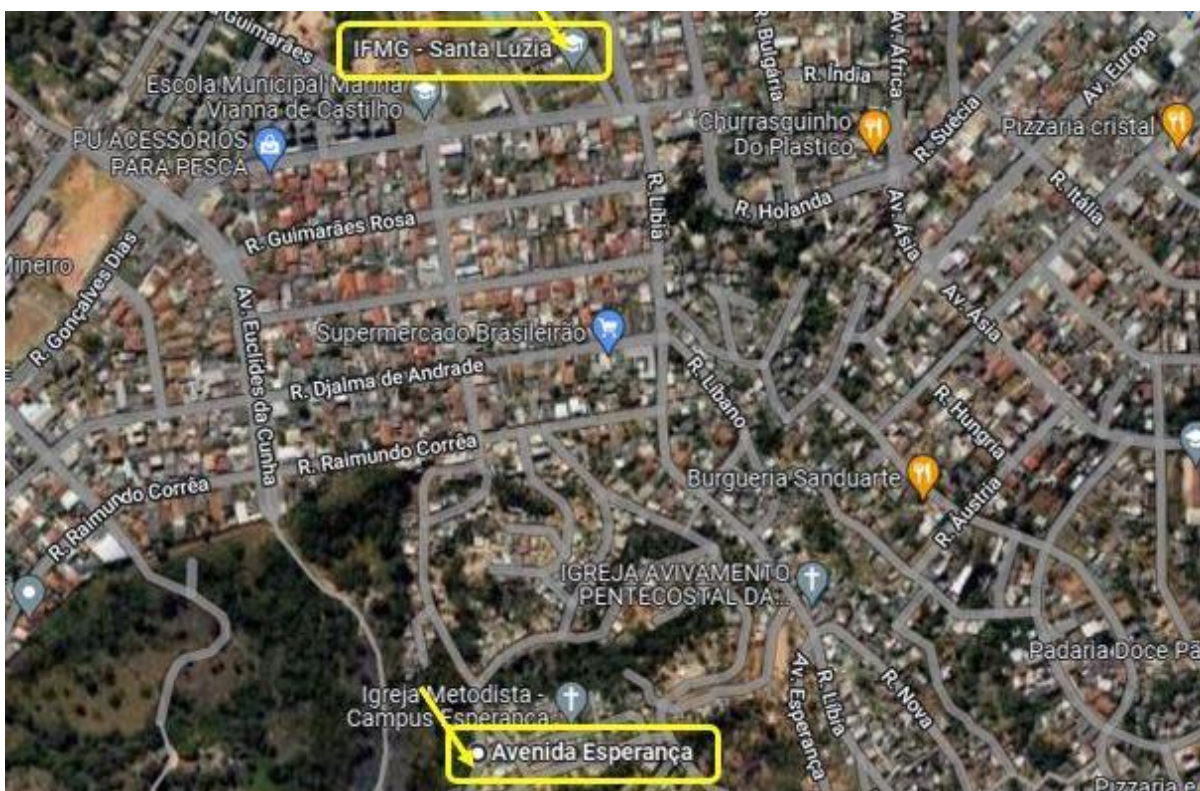
regiões contam com aproximadamente 1,5 km² de extensão e 5 mil habitações, que se encontram em precariedade de serviços de infraestrutura (PBH, 2022).

A Ocupação Esperança é composta por três regiões com características bem distintas (PROIZIDORA, 2022):

- a) Norte: Apresenta algumas vias que permitem a circulação de veículos e trechos onde só é possível acesso por pedestres;
- b) Sul: Apresenta um traçado viário melhor que na porção norte, porém em ambos a pavimentação é inadequada ou inexistente;
- c) Leste: Área que ainda apresenta processo de ocupação, trecho sem pavimentação inadequada.

A Ocupação Esperança fica próxima ao Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Campus Santa Luzia, conforme ilustra a Figura 03.

Figura 03: Localização IFMG x Avenida Esperança



Fonte: Imagem do Google Earth.

Pode-se evidenciar na Ocupação Esperança ligações clandestinas ao abastecimento de água, falta de rede de esgoto e drenagem que culminam em áreas

com alta declividade de terreno, além de elevados processos erosivos, na qual destaca-se a Voçoroca, representada na figura 04, localizada paralelamente à Avenida Esperança, via principal da Ocupação e projeto de estudo do presente trabalho.

Figura 04: Voçoroca paralela à Avenida Esperança



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

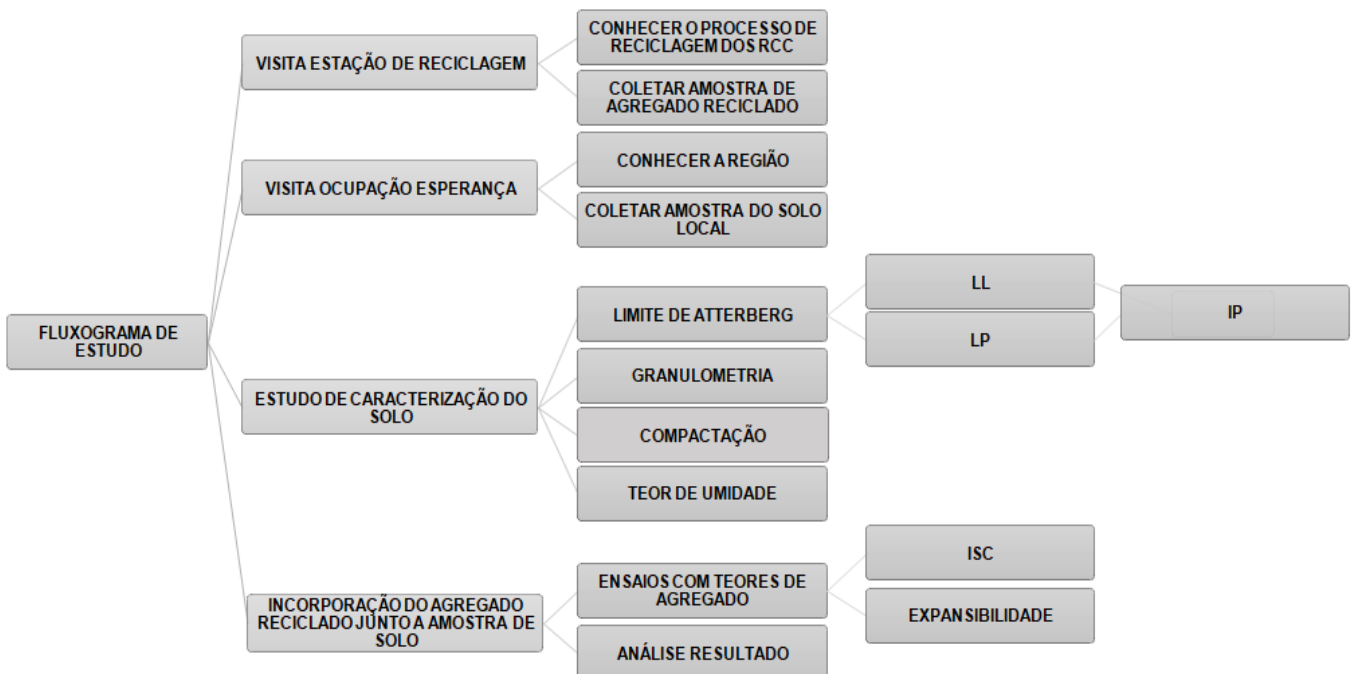
Durante a Conferência Habitat III, em 2016 a região de Izidora foi destacada como área em que ocorrem os graves conflitos fundiários urbanos da América Latina, onde através do Decreto nº 16.888 com aprovação do novo Plano Diretor de Belo Horizonte (Lei Municipal nº 11.181/19), em 2019, a Ocupação Esperança foi reconhecida como área de interesse social (AEIS), com isso há necessidade de ampliar a compreensão e melhoria da região por meios habitacionais, ambientais, urbanos e de infraestrutura.

É importante mencionar que os moradores da Ocupação Esperança organizam-se com recursos próprios para prover abastecimento de água, energia elétrica, dentre outros serviços básicos que deveriam ser fornecidos pelo governo, conforme o artigo 1º da Lei Federal de Desenvolvimento Urbano (Lei 10257/2001) denominada Estatuto da Cidade, na qual todo cidadão tem direito a condições de vida urbana digna e justiça social.

5. METODOLOGIA

O ambiente da pesquisa foi exposto considerando os aspectos social e ambiental, os quais foram alinhados segundo as características geotécnicas do material obtido com a reciclagem dos RCC. Os aspectos socioeconômicos estão ligados à vantagem de reciclar materiais sólidos oriundos da construção e de boa qualidade, que são descartados de forma inapropriada e poderiam contribuir para a melhoria das condições de vida da população residente nas áreas da Ocupação Esperança. O estudo será exploratório, objetivando analisar o comportamento do material incorporado. A natureza do trabalho é qualitativa devido ao seu caráter classificatório em relação à aplicação dos materiais nas camadas de pavimentação. Ressalta-se que, para melhor precisão dos resultados, faz-se necessário pesquisa de campo e ensaios laboratoriais. Para um melhor entendimento e organização do trabalho, foi realizado um mapeamento das etapas constituintes da pesquisa através de um fluxograma, representado na Figura 05.

Figura 05: Fluxograma



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5.1 Estações de reciclagem de RCC

A pesquisa foi realizada na cidade de Belo Horizonte, iniciando-se com a visita à Estação de Reciclagem de Entulho da PBH, nomeada como Central de Tratamento de Resíduos sólidos (CTRS), localizada na Rodovia BR-040, km 531, s/n, Bairro Jardim Filadélfia, Belo Horizonte/MG, que fica em torno de 30 km da Avenida Esperança, conforme Figura 06. A CTRS ocupa uma área de aproximadamente 1 milhão de m², sendo que o espaço tomado com resíduos aterrados é de 650 mil m².

Figura 06: Localização CTRS x Avenida Esperança



Fonte: Imagem do Google Earth.

A visita foi acompanhada e guiada por um técnico da empresa até a área de operação de reciclagem dos resíduos da construção, vide Figura 07 e depósito dos mesmos, vide Figura 08. Não foi possível ver o funcionamento do maquinário no dia da visita, pois o mesmo encontrava-se em período de manutenção, somente sendo possível acompanhar o processo inicial de descontaminação do resíduo sólido.

Figura 07: Equipamento de reciclagem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 08: Brita 0 e brita 1 recicladas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao término da visita, foi possível coletar aproximadamente 15 kg de brita 0 e 15 kg de brita 1 recicladas, mediante preenchimento de um formulário disponibilizado durante a visita dando ciência que o material retirado seria utilizado para fins acadêmicos. O material foi coletado no mesmo dia para garantir que o agregado utilizado nos ensaios do estudo fosse de um mesmo lote de reciclados.

Os resíduos reciclados são utilizados posteriormente pela própria PBH, sobretudo pela SUDECAP e pela Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte (URBEL), e destinam-se principalmente à base e sub-base de pavimentação de vias, drenos e camadas drenantes. Além disso, o RCC recebido pode também ser aproveitado em reaterro de valas de saneamento.

Vale ressaltar que em Belo Horizonte, há mais uma Estação de Reciclagem de Entulho, situada na região da Pampulha, na Rua Policarpo de Magalhães Viotti, 450, Bairro Bandeirantes, Belo Horizonte/MG e que essas unidades recebem os resíduos transportados por caminhões e empresas de caçambas desde que apresentem, no máximo, 10% de outros materiais como papel, plástico, metal dentre outros e ausência de terra, matéria orgânica, gesso e amianto.

5.2 Visita à Ocupação Esperança

A visita à Ocupação Esperança em estudo teve como foco conhecer o solo local e as problemáticas sociais dos moradores que ali residem bem como realizar a coleta das amostras de solo. A coleta foi feita a partir de 2 pontos da Avenida Esperança, um dos pontos na parte superior, próximo à capela e outro ponto na parte mais inferior da avenida, na esquina com a Rua Guaranis, para fins de caracterização do solo. O material foi coletado seguindo os procedimentos previstos na norma NBR 9604 (2016), sem adição de materiais aditivos, retirando aproximadamente 20 cm de profundidade, conforme Figura 09, utilizando-se pá, trado e sacos para realizar a escavação e coleta. Em cada ponto de coleta, foram retirados cerca de 15 Kg de amostra de solo, para posterior ensaio em laboratório.

Figura 09: Coleta de amostra de solo da Av. Esperança



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5.3 Estudo de caracterização do solo

Quanto ao desenvolvimento dos ensaios necessários para a caracterização do solo, utilizaram-se as instalações do laboratório do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Santa Luzia. No laboratório em questão, foram realizados os ensaios de LL, LP, granulometria por peneiramento e compactação por Proctor normal com energia intermediária, das amostras de solo retirada na visita à ocupação, seguindo as recomendações previstas das normas técnicas vigentes e acompanhado pelo técnico de laboratório do IFMG. O estudo foi realizado no final do ano de 2022 e início de 2023.

- **Limite de Liquidez**

Para desenvolver o ensaio de LL conforme NBR 6459 (2016) foi utilizado o aparelho de Casagrande com secagem prévia do material e seguiu-se basicamente as etapas abaixo:

- a) Preparo da amostra, seguindo as orientações da NBR 6457 (2012);

- b) Coleta de cerca de 200g de amostra da parte fina do solo passante da peneira 0,42 mm, depósito desse material em um vasilhame de porcelana e adição de água destilada a fim de obter uma pasta homogênea;
- c) Moldagem da massa na concha do aparelho de Casagrande, atentando-se a espessura contida na parte central da concha;
- d) Início de execução com o aparelho acompanhando as bordas inferiores da ranhura unindo-se ao longo de 13mm de comprimento e anotação do número de golpes;
- e) Retirada de uma porção dessa massa, colocando-as em cápsulas, pesando o conjunto cápsula + massa para levar em estufa à temperatura de $100^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até a constância de peso.
- f) O processo foi repetido em sua totalidade cinco vezes para posterior cálculo.

- **Limite de Plasticidade: NBR 7180 (2016);**

Para desenvolver o ensaio de LP conforme NBR 7180 (2016) com secagem prévia do material, seguiu-se basicamente as etapas abaixo:

- a) Preparo da amostra, seguindo as orientações da NBR 6457 (2012);
- b) Coleta de cerca de 200g de amostra da parte fina do solo passante da peneira 0,42 mm, depósito desse material em um vasilhame de porcelana e adição de água destilada a fim de obter uma pasta homogênea;
- c) Moldagem de cerca de 10g da amostra a fim de formar uma pequena bola com a pasta homogênea, que deverá ser rolada sobre a placa de vidro aplicando pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma de cilindro padrão de 3mm de diâmetro e 10mm de comprimento;
- d) Logo em seguida foi retirado uma porção dessa massa, colocando-as em cápsulas, pesando o conjunto cápsula + massa para levar em estufa à temperatura de $100^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até a constância de peso;
- e) O processo foi repetido em sua totalidade cinco vezes para posterior cálculo.

- **Granulometria por peneiramento**

O ensaio foi realizado segundo orientações da NBR 7181 (2016). Para o peneiramento grosso foram utilizadas as peneiras de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm. Para o peneiramento fino foram utilizadas as peneiras de 1,18 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm. As etapas constituintes a esse processo foram descritas abaixo:

- a) Preparo da amostra, seguindo as orientações da NBR 6457 (2012);
- b) Foi recolhido aproximadamente 1kg de massa, pois os diâmetros das amostras de solo são menores que 5 mm, passando o material na peneira de 2 mm;
- c) Nesta etapa todo material retido na peneira de 2mm foi lavado e colocado em vasilhame de porcelana;
- d) Levou-se o vasilhame em estufa à temperatura de $100^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até a constância de peso;
- e) Pesou-se o material seco anteriormente;
- f) Realizou o peneiramento do material seco nas peneiras previstas para o peneiramento grosso;
- g) Anotado os pesos acumulados em cada peneira.

- **Compactação do Solo**

O ensaio de compactação tipo Proctor normal com reutilização do solo, foi realizado seguindo as informações contidas na NBR 7182 (2016), utilizando energia de compactação intermediária, com 26 golpes por camada, num total de cinco camadas, de acordo com o método do ensaio para obtenção da curva de compactação. As etapas concernentes a esse processo foram descritas abaixo:

- a) Preparo da amostra, seguindo as orientações da NBR 6457 (2012);
- b) Tomou-se cerca de 2000g de solo passante na peneira de 4,75mm;
- c) Foi despojado a amostra em bandejas de alumínio e feito adição de água destilada até que a mistura se aproximasse da umidade aparente ótima;
- d) Montado o cilindro na base metálica com fundo falso e deu-se início na compactação das camadas de solo, aplicando golpes uniformemente sobre a mesma

- e) Depois de compactado a amostra, retirou-se do molde metálico, através de prensa hidráulica, o corpo de prova
- f) Tomados porções centrais de solo desse corpo de prova e inseriu-se em cápsulas, totalizando cinco conjunto (amostra cápsula);
- h) Feito pesagem desse conjunto os mesmos foram levados em estufa à temperatura de $100^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até a constância de peso;
- g) Como o ensaio foi realizado com reuso de material, procedeu-se o desmanche do material compactado e foi efetuado adição de uma quantidade de água para homogeneizar a amostra;
- h) O processo foi reiniciado por mais quatro vezes.

Vale ressaltar que todo processo feito no estudo de caracterização do solo foi efetuado para as duas amostras de solo retirado da avenida Esperança.

5.4 Mistura de agregado de RCC e solo coletado

Santos (2007) indicou que o uso de RCC em misturas apresentou baixos coeficientes de variação nos resultados de caracterização, excelentes propriedades de resistência e comportamento mecânico adequado justificando a sua utilização como material de aterro em estruturas de solo reforçado. Em concordância com Roza (2018), mais de 80% dos materiais que constituem as camadas do pavimento de ruas são materiais britados. Em posse dessas informações adotou-se para este trabalho desenvolver uma mistura com uma menor quantidade de RCC.

Assim, nesta etapa foi realizada a mistura em massa de 60% de material usinado de RCC (30% de brita 0 e 30% de brita 1) com 40% do solo peneirado, coletado no ponto I da Av. Esperança, denominada Mistura I. Foi realizada uma segunda mistura com a mesma proporção da anterior, porém, com amostra coletada do ponto II, denominada Mistura II. Posteriormente, realizou-se nas misturas os ensaios de Expansibilidade e ISC (Índice Suporte Califórnia), segundo a ABNT NBR 9895 (2016) para avaliar a viabilidade técnica do emprego dos RCC nas camadas de base e sub-base da pavimentação.

Figura 10: Mistura de agregado de RCC e solo coletado da Av. Esperança



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

6. RESULTADOS

6.1 Caracterização do solo

- **Limite de Liquidez**

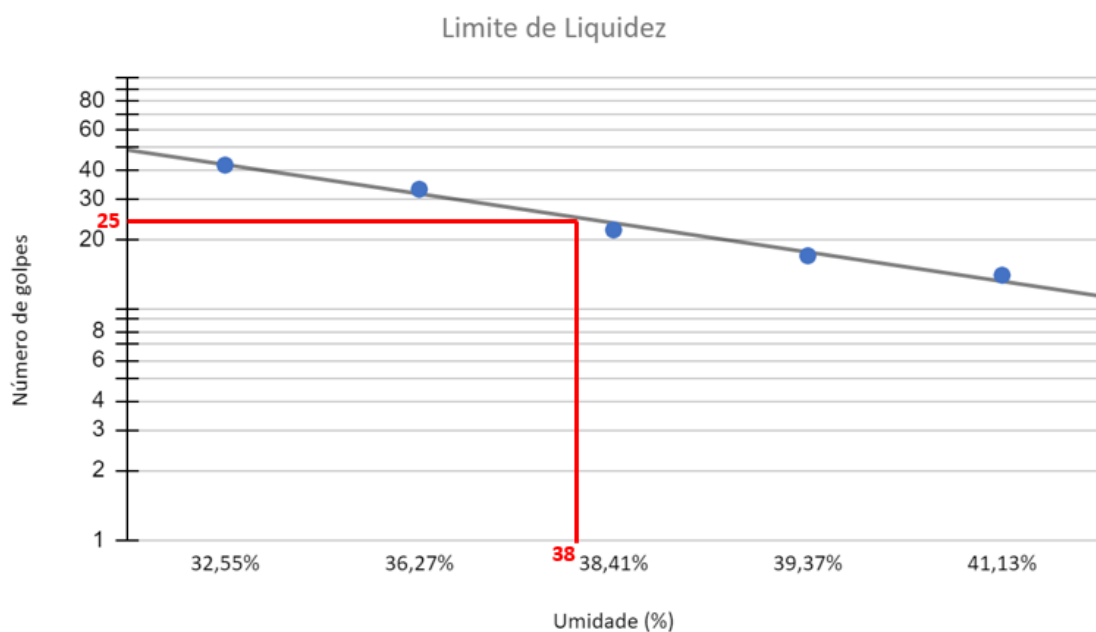
A partir dos pontos obtidos nas Tabelas 1 e 2, a seguir, traçou-se uma reta, ilustrada nas Figuras 11 e 12, que melhor se ajusta sobre os mesmos e verificou-se o teor de umidade correspondente a 25 golpes para fechar a ranhura feita no solo, encontrando um LL de 38% e 39%, respectivamente, para as amostras de solo I e solo II.

Tabela 01: Cálculo do Limite de liquidez da Amostra I

LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)					
Amostra nº	I	II	III	IV	V
Cápsula nº	L1	L2	L3	L4	L5
Massa da Cápsula (g)	13,4	14,33	11,72	16,11	13,65
Cápsula + Amostra úmida (g)	18,49	18,5	17,81	20,11	19,62
Cápsula + Amostra seca (g)	17,24	17,39	16,12	18,98	17,88
Massa de água (g)	1,25	1,11	1,69	1,13	1,74
Massa de solo (g)	3,84	3,06	4,4	2,87	4,23
Umidade (%)	32,55	36,27	38,41	39,37	41,13
Nº de golpes	41	33	22	17	14
LL (%)	38				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 11: Limite de Liquidez da Amostra I



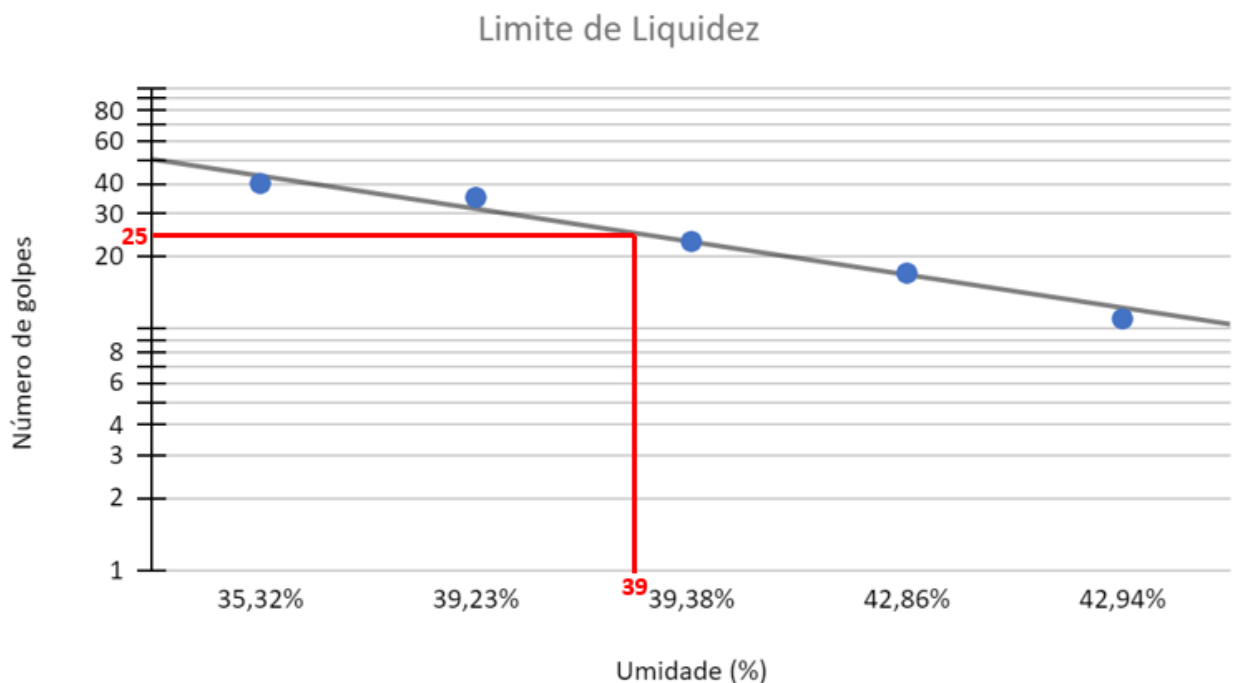
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 02: Limite de liquidez da Amostra II

LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)					
Amostra nº	I	II	III	IV	V
Cápsula nº	L1	L2	L3	L4	L5
Massa da Cápsula (g)	11,00	14,16	14,50	12,08	9,88
Cápsula + Amostra úmida (g)	16,90	20,30	19,42	16,58	15,04
Cápsula + Amostra seca (g)	15,36	18,57	18,03	15,23	13,49
Massa de água (g)	1,54	1,73	1,39	1,35	1,55
Massa de solo (g)	4,36	4,41	3,53	3,15	3,61
Umidade (%)	35,32	39,23	39,38	42,86	42,94
Nº de golpes	40	35	23	17	11
LL (%)	39				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 12: Limite de Liquidez da Amostra II



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- **Limites de Plasticidade**

Para determinação do LP, através do teor de umidade medido em cinco frações de cada amostra de solo coletado, foi calculada uma média dos valores encontrados que podem ser observados nas Tabelas 03 e 04. Nos ensaios foi obtido um LP de 31% para ambas as amostras.

Tabela 03: Cálculo do Limite de plasticidade da Amostra I

LIMITE DE PLASTICIDADE(LP)					
Amostra nº	I	II	III	IV	V
Cápsula nº	P1	P2	P3	P4	P5
Massa da Cápsula (g)	13,05	13,67	13,78	14,19	14,35
Cápsula + Amostra úmida (g)	15,74	16,06	16,04	16,48	16,53
Cápsula + Amostra seca (g)	14,98	15,50	15,50	15,95	16,07
Massa de água (g)	0,76	0,56	0,54	0,53	0,46
Massa de solo (g)	1,93	1,83	1,72	1,76	1,72
Umidade (%)	39,38	30,60	31,40	30,11	26,74
Umidade média (%)	31,65				
5% Umidade média	1,58				
Intervalo satisfatório (%)	30,06 - 33,23				
Nova média (%)	30,7				
LP (%)	31				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 04: Cálculos do Limite de plasticidade da Amostra II

LIMITE DE PLASTICIDADE(LP)					
Amostra nº	I	II	III	IV	V
Cápsula nº	P1	P2	P3	P4	P5
Massa da Cápsula (g)	13,07	13,81	12,51	13,84	13,93
Cápsula + Amostra úmida (g)	14,82	15,22	14,68	15,40	15,48
Cápsula + Amostra seca (g)	14,41	14,89	14,16	15,09	15,08
Massa de água (g)	0,41	0,33	0,52	0,31	0,40
Massa de solo (g)	1,34	1,08	1,65	1,25	1,15
Umidade (%)	30,60	30,56	31,52	24,80	34,78
Umidade média (%)	30,45				
5% Umidade média	1,52				
Intervalo satisfatório (%)	28,93 - 31,97				
Nova média (%)	30,89				
LP	31				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- **Índice de Plasticidade (IP)**

Em posse dos resultados de LL e LP, foi calculado o Índice de Plasticidade (IP) através da equação a seguir:

$$IP = LL - LP$$

Os resultados estão expressos na tabela 05 e apresentaram uma conformidade nos resultados entre os dois solos.

Tabela 05: Índice de Plasticidade

SOLO	LL	LP	IP
I	38	31	7
II	39	31	8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- **Granulometria por peneiramento**

Foi calculado o teor de umidade higroscópica das amostras de solo, representadas nas Tabelas 06 e 07, a fim de obter a razão entre o peso da água existente e o peso do solo. Tal procedimento determinou que a umidade higroscópica para os solos ensaiados foi de 2,32% e 2,63%, respectivamente, para amostra I e amostra II.

Tabela 06 - Cálculo da umidade higroscópica da Amostra I

UMIDADE - MÉTODO ESTUFA				
A	Cápsula nº	I	II	III
B	Massa da Cápsula (g)	13,52	13,82	12,51
C	Cápsula + Solo úmido (g)	22,97	23,01	21,58
D	Cápsula + Solo seco (g)	22,74	22,80	21,39
E	Massa da Água (g)	0,23	0,21	0,19
F	Massa do Solo Seco (g)	9,22	8,98	8,88
Teor de umidade (%)		2,49	2,33	2,14
Umidade média (%)		2,32		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 07 - Cálculo da umidade higroscópica da Amostra II

UMIDADE - MÉTODO ESTUFA				
A	Cápsula nº	I	II	III
B	Massa da Cápsula (g)	14,23	13,98	13,91
C	Cápsula + Solo úmido (g)	24,12	24,24	23,80
D	Cápsula + Solo seco (g)	23,88	23,98	23,53
E	Massa da Água (g)	0,24	0,26	0,27
F	Massa do Solo Seco (g)	9,65	10	9,62
Teor de umidade (%)		2,49	2,60	2,80
Umidade média (%)		2,63		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As Tabelas 08 e 09 traduzem os resultados das curvas numericamente, classificando as amostras por percentagem de pedregulho, areias, silte e argila de acordo com o sistema SUCS. A percentagem passante na peneira nº 200 foi de 24,6%

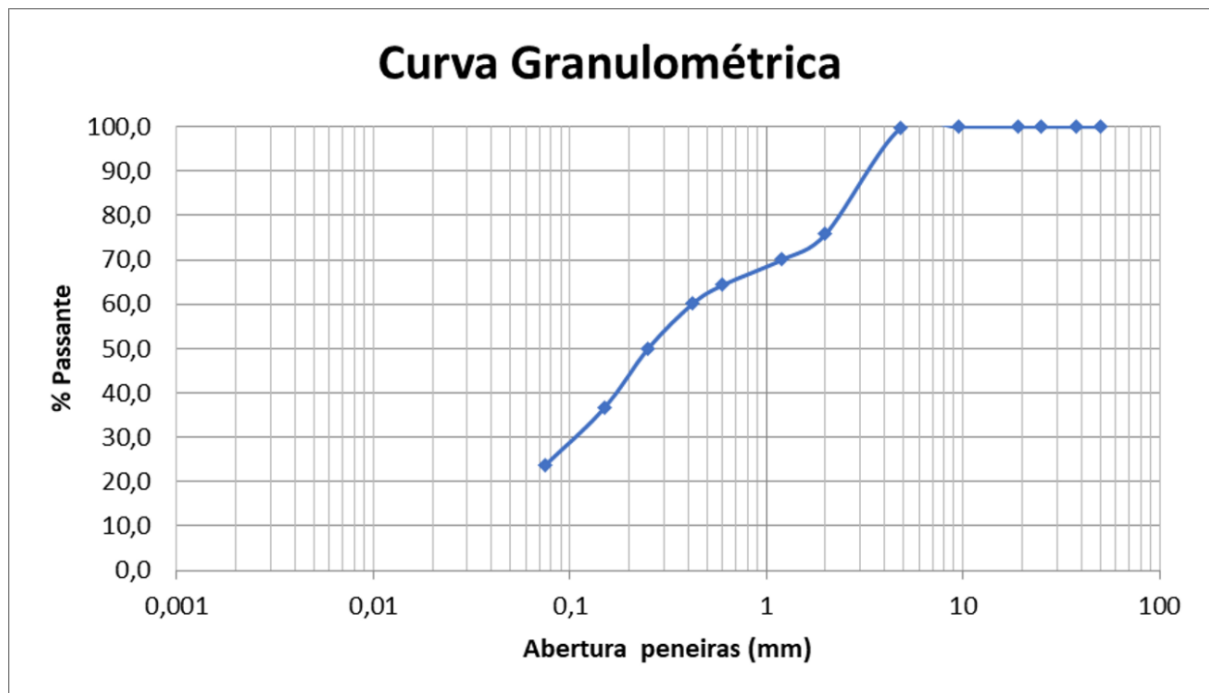
e 23,8%, respectivamente, para as amostras de solo I e solo II. Nas Figuras 13 e 14 estão ilustradas as curvas do ensaio da granulometria por peneiramento fino e grosso das duas amostras de solo local.

Tabela 08: Cálculos do ensaio de granulometria por peneiramento da Amostra I

Abertura Peneira (mm)	Massa retida na peneira (g)	Massa retida acumulada - M_r (g)	Passante (%)
50	0	0	100
38	0	0	100
25	0	0	100
19	0	0	100
9,5	0	0	100
4,8	3,24	3,24	99,7
2	201,1	204,3	79,2
1,2	9	9	73,1
0,6	8,85	17,85	67,1
0,42	6,63	24,48	62,6
0,25	15,55	40,03	52,1
0,15	20,78	60,81	38,1
0,075	19,97	80,78	24,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 13: Curva Granulométrica da Amostra I



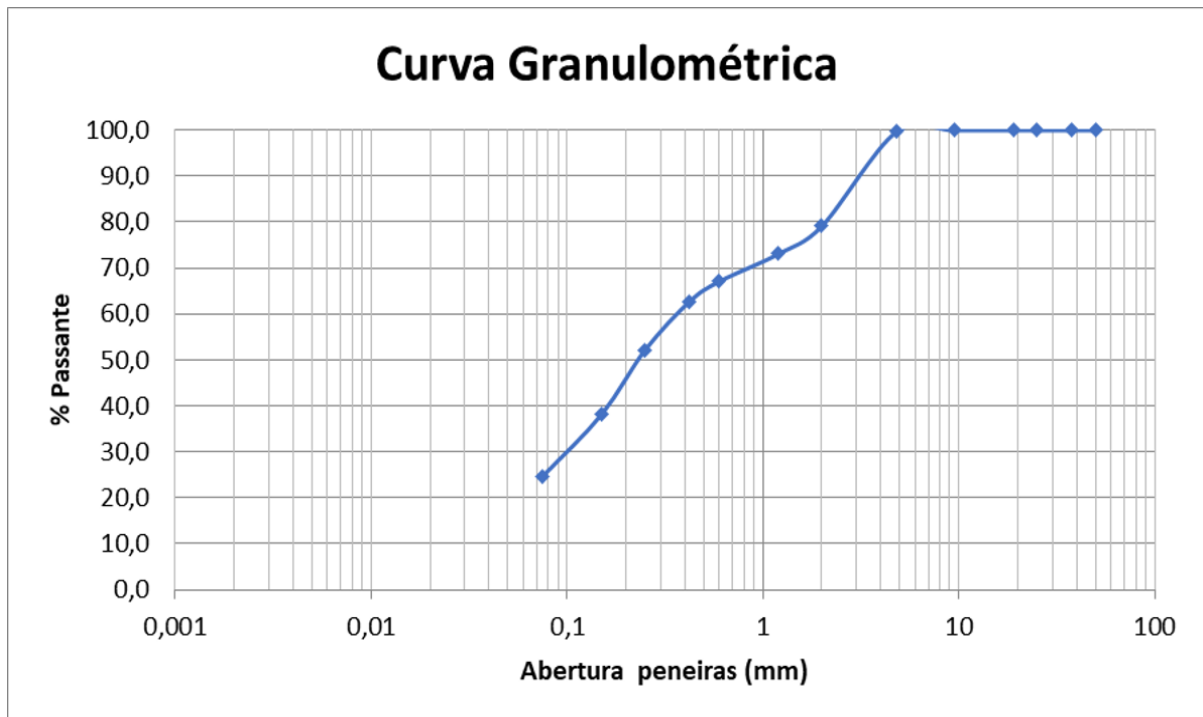
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 09: Cálculos do ensaio de granulometria por peneiramento da Amostra II

Abertura Peneira (mm)	Massa retida na peneira (g)	Massa retida acumulada - M_r (g)	Passante (%)
50	0	0	100,0
38	0	0	100,0
25	0	0	100,0
19	0	0	100,0
9,5	0	0	100,0
4,8	3,24	3,24	99,7
2	234,0	237,2	75,9
1,2	9	9	70,1
0,6	8,85	17,85	64,4
0,42	6,63	24,48	60,1
0,25	15,55	40,03	50,1
0,15	20,78	60,81	36,7
0,075	19,97	80,78	23,8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 14: Curva Granulométrica da Amostra II



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

- **Compactação**

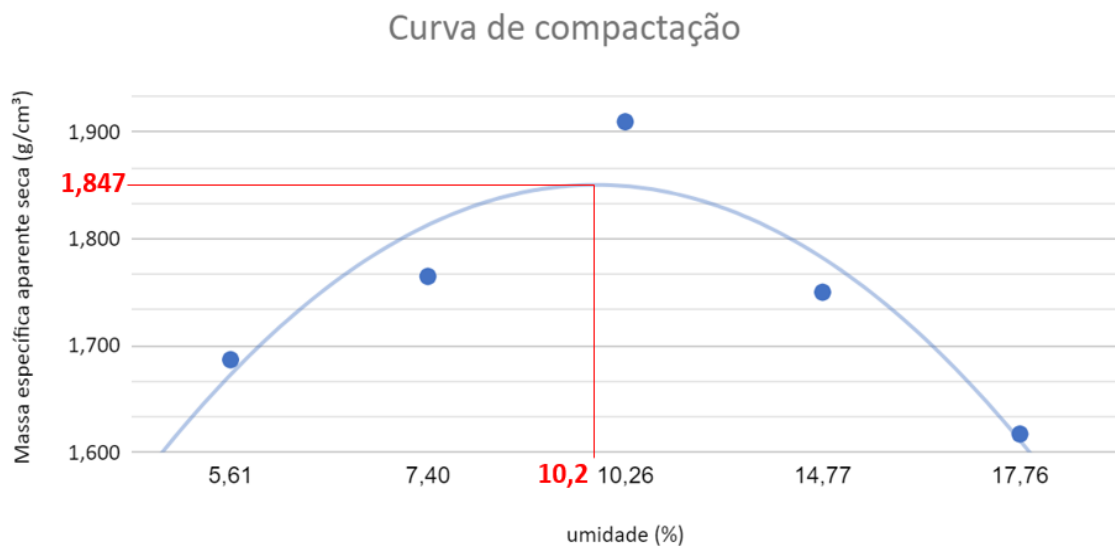
O ensaio foi realizado no solo natural, sem acrescentar aditivos, a fim de ter-se um resultado comparativo de controle da resistência do solo entre as amostras coletadas. Para cada solo foi ajustada uma equação polinomial de segundo grau. Nas Figuras 15 e 16, no seu ponto de máxima obtém-se, na abscissa, a massa específica aparente seca máxima e, na respectiva ordenada, a umidade ótima de compactação. A amostra I apresentou massa específica máxima de 1,847 g/cm³ e umidade ótima de 10,2%, representados pela Tabela 10, já a amostra II, apresentou massa específica máxima de 1,829 g/cm³ e umidade ótima de 9,8%, representados na Tabela 11.

Tabela 10: Umidade x Massa específica Amostra I

Umidade média (%)	Massa específica aparente seca (g/cm ³)
5,60	1,69
7,40	1,76
10,26	1,91
14,77	1,75
17,76	1,62
Parâmetros ótimos	
Umidade ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)
10,2	1,847

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 15: Curva de Compactação da Amostra I



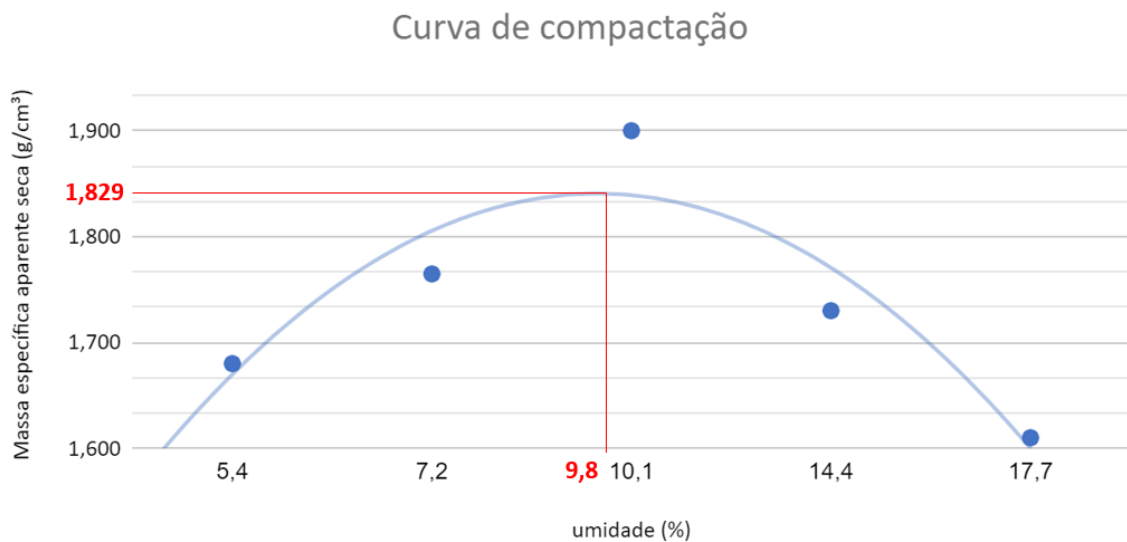
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 11: Umidade x Massa específica Amostra II

Umidade média (%)	Massa específica aparente seca (g/cm ³)
5,42	1,68
7,17	1,76
10,06	1,90
14,42	1,73
17,69	1,61
Parâmetros ótimos	
Umidade ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)
9,8	1,829

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 16: Curva de Compactação Amostra II



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

6.2 Expansibilidade e ISC da mistura 60% de RCC e 40% de solo local

• Expansibilidade

O ensaio foi realizado, tanto para amostra I (solo I acrescentado de RCC) e amostra II (solo II acrescentado de RCC), utilizando os dados complementares apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Relógio comparador (Deflectômetro) - Amostra I

Tempo decorrido (Dias)	Data	Hora	Leitura no relógio comparador (Deflectômetro) mm	Diferença de leitura no relógio comparador (Deflectômetro) mm
Início	17/01	18:00	0,00	0,54
Término	24/01	18:00	0,54	
Altura inicial do corpo de prova (mm)	110,2			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Tabela 13: Relógio comparador (Deflectômetro) - Amostra II

Tempo decorrido (Dias)	Data	Hora	Leitura no relógio comparador (Deflectômetro) mm	Diferença de leitura no relógio comparador (Deflectômetro) mm
Início	17/01	18:00	0,00	0,41
Término	24/01	18:00	0,41	
Altura inicial do corpo de prova (mm)	110,2			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Considerando que a altura dos corpos de prova é de 110,2 mm, apresenta-se a seguir os cálculos de expansão das amostras I e II que deram, respectivamente, 0,033% e 0,025%. Os cálculos foram efetuados através da fórmula abaixo:

$$\text{Expansão (\%)} \text{ Solo - Amostra I} = \frac{0,54 - 0}{110,2} \times 100 = 0,033\%$$

$$\text{Expansão (\%)} \text{ Solo - Amostra II} = \frac{0,41 - 0}{110,2} \times 100 = 0,025\%$$

- **ISC**

As misturas de solo local e RCC elaboradas foram ensaiadas com umidade ótima obtida anteriormente no ensaio de compactação. Os resultados do ensaio de ISC foram expressos nas Tabelas 14 e 15, respectivamente, para mistura I e mistura II. Os cálculos realizados neste ensaio levaram em consideração as características técnicas do equipamento, listadas a seguir:

- 1- Altura do disco: 6,68 cm;
- 2- Altura do molde: 17,70 cm;
- 3- Altura do corpo de prova: 11,02 cm;
- 4- Constante do anel dinamométrico: 0,1059

Para a determinação do ISC, utilizou-se a equação a seguir, fornecida pela NBR 9895 (2016).

$$\text{ISC} = [(\text{pressão calculada}) / (\text{pressão padrão})] \times 100$$

- Cálculo do ISC da Mistura I

$$\text{ISC } 2,54 = \frac{2,186}{6,9} \times 100 = 32\%$$

$$\text{ISC } 5,08 = \frac{3,148}{10,35} \times 100 = 30\%$$

- Cálculo do ISC da Mistura II

$$\text{ISC } 2,54 = \frac{1,858}{6,9} \times 100 = 27\%$$

$$\text{ISC } 5,08 = \frac{2,901}{10,35} \times 100 = 29\%$$

Tendo em vista que o ISC adotado para um corpo de prova deve ser o maior dos valores obtidos de pressão entre as penetrações de 2,54 mm e 5,08mm, observou que para a mistura I, tem-se ISC= 32% e para a mistura II, tem-se ISC = 29%.

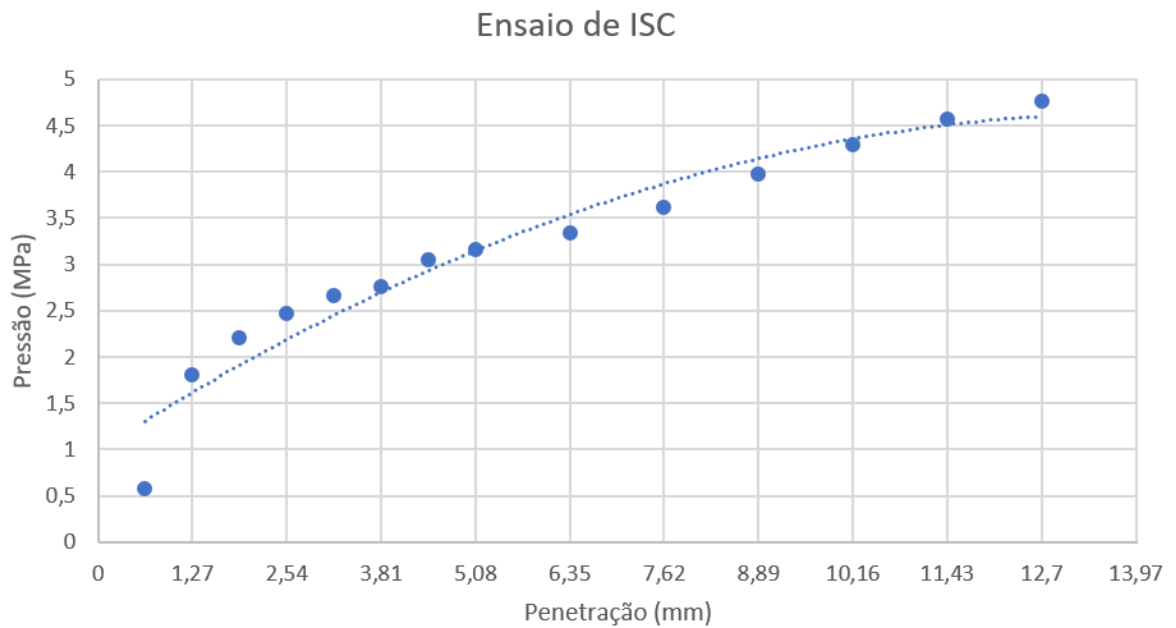
A curva de compactação expressa nas Figuras 17 e 18, respectivamente, para mistura I e mistura II, foi elaborada a partir dos valores encontrados no ISC das misturas.

Tabela 14: ISC da Mistura I

Tempo	Penetração (mm)	Leitura (10^{-2} mm)	Pressão (MPa)
0,5	0,63	55	lançar
1,0	1,27	174	1,81
1,5	1,90	213	2,21
2,0	2,54	238	2,47
2,5	3,17	256	2,66
3,0	3,81	266	2,76
3,5	4,44	293	3,05
4,0	5,08	304	3,16
5,0	6,35	321	3,34
6,0	7,62	348	3,62
7,0	8,89	382	3,97
8,0	10,16	413	4,29
9,0	11,43	440	4,57
10,0	12,70	458	4,76

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 17: Gráfico ISC da mistura I



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

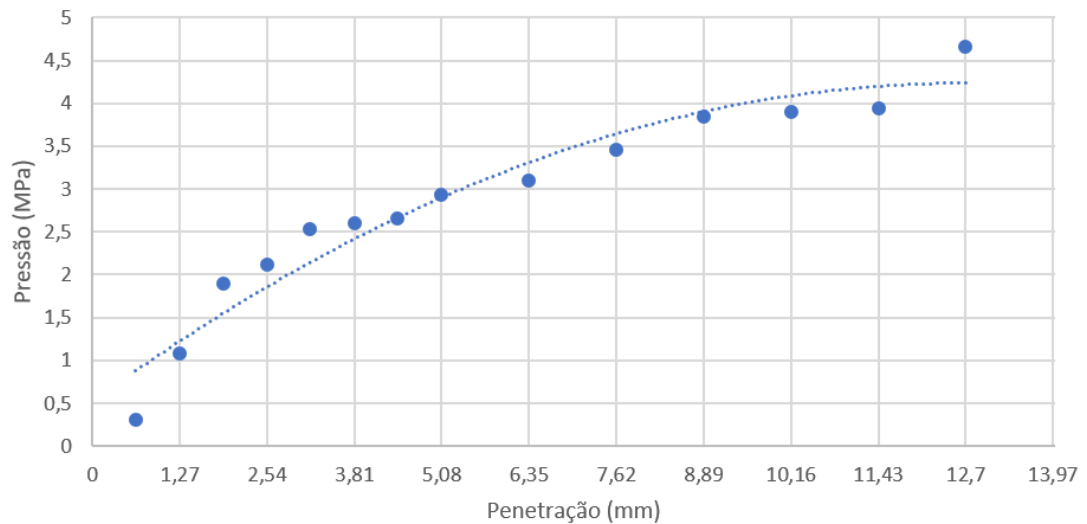
Tabela 15: ISC mistura solo ponto II

Tempo	Penetração (mm)	Leitura	Pressão (Mpa)
0,5	0,63	29	0,30
1,0	1,27	104	1,08
1,5	1,90	182	1,89
2,0	2,54	204	2,12
2,5	3,17	244	2,54
3,0	3,81	250	2,60
3,5	4,44	256	2,66
4,0	5,08	282	2,93
5,0	6,35	298	3,10
6,0	7,62	333	3,46
7,0	8,89	370	3,85
8,0	10,16	375	3,90
9,0	11,43	379	3,94
10,0	12,70	448	4,66

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 18: Gráfico ISC ponto II

Ensaio de ISC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

6.3 Análise dos Resultados

Ao analisar isoladamente os ensaios de LL e LP, foi possível observar que os resultados encontrados para ambos os solos foram similares, caracterizando os solos em estudo como medianamente plástico, conforme classificação estabelecidos por

Jenkins (1987) *apud* Caputo (1987), seguindo um intervalo de $7 < IP \leq 15$, determinando o caráter de plasticidade dos solos.

Ao analisar os ensaios de LL e LP juntamente com a granulometria obtida para a caracterização do solo estudado em seu estado natural, foi possível classificar as amostras de solo quanto a tabela da AASHTO como pertencente ao grupo A-4, ou seja, material predominantemente granular com quantidade superior a 70% passante na peneira de nº 200 contendo ainda cerca de 24% de material siltoso, visto que ambas amostras de solo apresentaram LL menor que 50.

Já para a análise da curva granulométrica obtida, pode-se afirmar que essa distribuição enquadra o material como areia siltosa, apresentando uma baixa compressibilidade, seguindo parâmetros do sistema de classificação SUCS.

A respeito das curvas de compactação realizadas foram observados valores similares referentes às umidades ótimas nas amostras de solo analisadas, observou-se um valor de umidade ótima para compactação similar entre as amostras para esta característica, tendo a amostra I apresentado um valor ligeiramente maior que a amostra II o que corrobora com o fato de a mesma apresentar uma maior porção de finos que a amostra II, analisados no ensaio de análise granulométrica. Comportamento semelhante foi observado, nos valores encontrados para a massa específica aparente seca máxima, a qual, para as diferentes amostras de solo elaboradas, alcançou um valor de $1,847 \text{ g/cm}^3$ para amostra de solo I e um valor de $1,829 \text{ g/cm}^3$ para amostra de solo II.

O ensaio de expansibilidade para as misturas compostas de 30% de brita 1 reciclada, 30% de brita 0 reciclada e 40% de solo local, apresentou como resultado uma expansibilidade de 0,033% para mistura I e 0,025% para mistura II, sendo assim ambas as misturas podem ser utilizadas na execução das camadas de base e sub-base, atendendo as exigências mínimas conforme NBR 15115 (2016).

O ensaio de ISC para as misturas compostas de 30% de brita 1 reciclada, 30% de brita 0 reciclada e 40% de solo local, apresentou como resultado uma resistência de 32% e 29%, respectivamente, para mistura I e II, sendo assim, estas misturas não são demasiadamente ruins, sendo aceitas para execução somente como sub-base atendendo às exigências estabelecidas conforme NBR 15115 (2016). Resultado

similar ao trabalho realizado por Silveira e Borges (2016), em que a adição de 50% de RCC ao solo, permitiu que a mistura fosse empregada na execução em camada de sub-base, desde que aplicado em vias com tráfego leve no período do projeto.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, utilizando-se as mistura das amostras de solo coletadas da Avenida Esperança com as britas 0 e 1 recicladas, notou-se que as mesmas podem ser utilizadas na construção de sub-base de pavimentos, tendo em vista que apresentaram resultados satisfatórios, com $ISC \geq 20\%$, expansão $\leq 1,0\%$, atendendo às exigências técnicas previstas na NBR 15115 (2004) para conferir durabilidade e estabilidade em pavimentos de baixo volume de tráfego, como o estudo de caso do presente trabalho. Entretanto, para a construção da base de pavimentos, as misturas não atingiram o índice previsto em norma para execução, isto é, $ISC \leq 60\%$.

A utilização deste tipo de agregado é tecnicamente viável sob a ótica econômica e social, uma vez que o município de Belo Horizonte dispõe de inúmeras atividades relacionadas ao setor da construção civil, como reformas, construções de prédios. Essas atividades geram resíduos que poderiam ser reaproveitados pela PBH em obras de pavimentação de áreas precárias de infraestrutura, como a Ocupação Esperança.

Concernente às questões ambientais, a utilização desses resíduos acarretará na diminuição da quantidade dos mesmos dispostos no meio ambiente, reduzindo consideravelmente a extração de matéria-prima, além de contribuir para redução da proliferação de vetores (ratos, moscas e baratas) transmissores de doenças como leptospirose, dengue, entre outras. Vale ressaltar que a incidência dessas doenças também está relacionada a questões sociais, como pobreza e falta de saneamento, cenário em que se enquadra a Ocupação Esperança atualmente.

REFERÊNCIAS

ABRECON, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **A gestão dos resíduos da construção e demolição e o papel do engenheiro.** Disponível em: <https://abrecon.org.br/noticias/a-gestao-dos-residuos-da-construcao-e-demolicao-e-o-papel-do-engenheiro>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

ANFACER. **Brasil pode reciclar 98% dos rcc's. 01 de outubro de 2019.** Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/noticias/brasil-pode-reciclar-98-dos-residuos-da-construcao-civil-mas-so-consegue-dar-conta-de-21>. Acesso em: 12 de dezembro de 2022.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182:** Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895:** Solo – Índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.263:** Execução de sub-base ou base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, Jupira. **Estudo de viabilidade econômica do uso do agregado de RCD em pavimentação de vias urbanas.** Revista de engenharia, 2018. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n54/Pag.16-25.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2022.

ALMEIDA, M. A. B. Sousa. **Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** 21 de março de 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 25 de junho de 2022.

BAGATINI, Felipe. **Resíduos de construção civil: Aproveitamento como base e sub-base na pavimentação de vias urbanas.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre. Dezembro, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/39135/000825270.pdf?sequence>. Acesso em 16 de junho de 2022.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: Materiais, projeto e restauração.** São Paulo, 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/1192242/Pavimentacao_asfaltica_materiais_projeto_e_restauracao. Acesso em 14 de junho de 2022.

BARRETO, Ismeralda. **Gestão de resíduos da construção civil.** Aracajú. Disponível em: http://www.sinduscon-se.com.br/sinduscon/arquivos/GESTO%20DE%20RESDUOS%20NA%20CONSTRUO%20CIVIL%20-%20Barreto_%20Ismeralda%20Maria%20Castelo%20Branco.pdf. Acesso em 10 de maio de 2022.

BELO HORIZONTE. Prefeitura de Belo Horizonte. **Reciclagem de entulho**. Belo Horizonte, 22 de novembro de 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/servicos/reciclagem-de-entulho#:~:text=Belo%20Horizonte20%C3%A9%20considerada%20refer%C3%Aancia,no%20in%C3%ADcio%20dos%20anos%2090>. Acesso em: 13 agosto de 2022.

BELO HORIZONTE. Prefeitura de Belo Horizonte. **Programa de Proteção Ambiental e Melhorias Urbanas da Região Izidora**. 11 de agosto de 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/pro-izidora>. Acesso em: 30 de julho de 2022.

BELO HORIZONTE. Prefeitura de Belo Horizonte. **Números Da Limpeza Urbana**. Belo Horizonte, 12 de novembro de 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/numeros-limpeza-urbana>. Acesso em: 06 de julho de 2022.

BELO HORIZONTE. Decreto Nº 16.888, De 12 De Abril De 2018. **Declara de interesse social os assentamentos que menciona e dá outras providências**. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/decreto/2018/1689/16888/decreto-n-16888-2018-declara-de-interesse-social-os-assentamentos-que-menciona-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 05 de junho de 2022.

BELO HORIZONTE. Prefeitura de Belo Horizonte. **Tabela de preços**. Belo Horizonte, 22 de novembro de 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sudecap/tabela-de-precos>. Acesso em: 13 agosto de 2022.

BERNUCCI, Lied; MOTTA, Laura; CERATTI, Jorge; SOARES, Jorge. **Pavimentação Asfáltica**. Rio de Janeiro, Abeda, 2008. Disponível em: <https://www.ufjf.br/pavimentacao/videos/livro-pavimentacao-asfaltica/>. Acesso em 30 de maio de 2022.

BRASIL. LEI No 10.257, DE 10 DE JULHO DE 2001. **Estatuto da Cidade**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 02 de junho de 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 15 de junho de 2022.

CBIC. **A importância da construção civil para a economia nacional**. 06 de julho de 2021. Disponível em: <https://cbic.org.br/a-importancia-da-construcao-ci-vil-para-a-economia-nacional/>. Acesso em: 15 de dezembro de 2022.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1987. 219p.

CARNEIRO, Brum. **Resíduos da construção civil em salvador: os caminhos para uma gestão sustentável**. Publicado em 07 de fevereiro de 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/LB9mqGzbdskdNMFr6BjhzWS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 29 de maio de 2022.

CAVA, Felipe. **Como dimensionar pavimentos flexíveis pelo método do DNER**. 31 de janeiro de 2018. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2018/01/31/como-dimensionar-pavimentos-flexiveis-pelo-metodo-do-dner/>. Acesso em: 17 de julho de 2022.

CAVA, Felipe. **Estas são as funções dos pavimentos!** 19 de abril de 2021. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2021/04/19/estas-sao-as-funcoes-dos-pavimentos/>. Acesso em: 12 de julho de 2022.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 307 - **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. 05 de julho de 2002. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002_Res_CONAMA_307.pdf. Acesso em 22 de maio de 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2021**. Brasília, 2019. Disponível em: https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf. Acesso em: 23 de julho de 2022.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação - IPR 719**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-Pavimentacao-719-DNIT-2006.pdf>. Acesso em: 02 de agosto de 2022.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos/Instituto Federal de**

Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais; organizado pelos bibliotecários da Rede de Bibliotecas do IFMG. Belo Horizonte: IFMG, 2020.

Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/portal/noticias/ifmg-lanca-manual-de-normализacao-de-trabalhos-academicos>>. Acesso em: 06 jul. 2022.

LIBÂNIO, Clarice; NASCIMENTO, Denise. **Ocupações Urbanas. Belo Horizonte, Favela é isso aí.** 2016. Disponível em: <https://www.favelaeissoai.com.br/wp-content/uploads/2020/11/ocupacoes-urbanas-web.pdf>. Acesso em: 15 de agosto de 2022.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos.** 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ., 1997.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE GOIÁS. **Inquérito Investiga Regularidade De Construção De Aterro Em Guapó.** Goiás, 2016. Disponível em: <http://www.mpggo.mp.br/portal/noticia/inquerito-investiga-regularidade-de-construcao-de-aterro-em-guapo>. Acesso em: 18 de junho de 2022.

NAGALLI, A. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. São Paulo, **oficina de textos**, 2014. Disponível em . Acesso em 20 de dezembro de 2022.

Oliveira, L. C.; Lima, J. B. **Utilização De Resíduos De Construção E Demolição Na Pavimentação Rodoviária. 23º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.** Novembro de 2018. Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

PELLENZ, E. **Paralelepípedos e Alvenaria Poliédrica: Manual de Utilização.** 1. ed. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, 1983.

PINTO, S., PREUSSLER, E. S. **Módulos Resilientes de Concretos Asfálticos.** 1980. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens – Instituto Pesquisas. Rodoviárias DNER - IPR, Rio de Janeiro.

RESÍDUO ALL. **Resíduos Sólidos Da Construção Civil. O Que Fazer?.** Maio, 2018. Disponível em: <http://residuoall.com.br/2017/05/17/residuos-solidos-da-construcao-civil-o-que-fazer/>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

Roza, A. E. (2018). **Contribuição para o projeto mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos na região norte do estado do Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANTOS, E. C.G.(2007). **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solos reforçados**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Departamento de Geotecnia, São Carlos, 168.

SANTANA, Professor Humberto Santana. **Manual de Pré-misturados a frio**. 1993.

SILVA, Paulo. CADERNOS EBAPE BR. **Políticas e práticas de gestão ambiental: Uma análise de gestão dos resíduos da construção civil na cidade de Belo Horizonte (MG)**. V.4, Nº 3. Outubro, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cebape/a/YY9mgPPQmhRd6ZLNv9BvfxR/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 de agosto de 2022.

SOUZA, Barreto. Revista Saber Acadêmico Nº 21 / Issn 1980. **Estudo E Abordagem Da Origem E Desenvolvimento Das Patologias Em Pavimento**. Barreto, 2016. Disponível em: http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/2017_0420170858.pdf. Acesso em: 22 de julho de 2022.

Souza, M. V. R. **Comportamento Mecânico de um Agregado Reciclado como Base de Pavimento Flexível a partir de um Modelo Físico**. 2015. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF. Disponível em: file:///C:/Users/Marcos/Downloads/2015_Marcus_ViniciusRibeiroESouza.pdf. Acesso em: 28 de julho de 2022.

SINDUSCON-MG. **Cartilha de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Belo Horizonte, 2005. Disponível em: https://www.sinduscon-mg.org.br/wp-content/uploads/2016/11/CARTILHA_GERENCIAMENTO.pdf. Acesso em: 18 de agosto de 2022.

VENESCAU, Ricardo. **Conheça o Método de Dimensionamento Nacional – MEDINA**. Disponível em: <http://engenhariarodoviaria.com.br/conheca-o-novo-metodo-de-dimensionamento-nacional-medina/>. Acesso em: 12 de julho de 2022.

ZHIQING Zhang; BOZHAO , Shen ; HUI, Ren ; ,JIN, Wang ; SHIYUN, Li; HAO, Liu . **A Variabilidade e o Método de Avaliação de Propriedades de Agregados de Concreto Reciclado**. Avanços em Ciência e Engenharia de Materiais, pp.1-9. 2017.

ZORDAN, S.E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas, 1997. 140p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.