

Gabriela Cristina de Assis Costa

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE  
PISOS ECOLÓGICOS DRENANTES**

Bambuí - MG

2023

GABRIELA CRISTINA DE ASSIS COSTA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE  
PISOS ECOLÓGICOS DRENANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte – IFMG – Campus Bambuí/MG  
Coorientador: Prof. Dr. Harley Sander Silva Torres – IFMG – Campus Santa Luzia/MG

Linha de pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental

Projeto Estruturante: Gestão de Águas, Efluentes e Resíduos Sólidos

Bambuí - MG

2023



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
Campus Bambuí  
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação  
Seção de Pós-Graduação  
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG  
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

### PARECER Nº 13

#### FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE PISOS ECOLÓGICOS DRENANTES**”, de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Gabriela Cristina de Assis Costa**, sob a orientação do prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte, tendo como coorientador o prof. Dr. Harley Sander Silva Torres, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 06/11/2023, com a média de 85,67 pontos.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pela equipe de orientadores.

Bambuí (MG), 06 de novembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Raphael Tobias de Vasconcelos Barros, Usuário Externo**, em 13/11/2023, às 08:49, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Gabriela Costa registrado(a) civilmente como Gabriela Cristina de Assis Costa, Usuário Externo**, em 13/11/2023, às 09:15, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Fernando Lemos, Usuário Externo**, em 13/11/2023, às 09:16, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Valéria Cristina Palmeira Zago, Usuário Externo**, em 13/11/2023, às 10:17, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Harley Sander Silva Torres, Professor**, em 16/11/2023, às 09:29, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Neimar de Freitas Duarte, Professor**, em 20/11/2023, às 09:17, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1734760** e o código CRC **290A383B**.

---

Criado por [ronaldo.barbosa](#), versão 2 por [ronaldo.barbosa](#) em 10/11/2023 19:11:08.

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

C837u Costa, Gabriela Cristina de Assis.  
Utilização de resíduos da construção civil na produção de pisos ecológicos drenantes. / Gabriela Cristina de Assis Costa. – Bambuí, 2023.  
107 f.: il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte.  
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2023.

1. Piso drenante. 2. Resíduos. 3. Construção civil. I. Duarte, Neimar de Freitas. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 363.728

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me abençoado sempre e por ter me dado força para chegar até aqui, pois sem Ele nada disso seria possível. Aos meus pais, Ogenivaldo e Maria Aparecida, que me deram o dom mais precioso do universo: a vida. Inspiram-me a certeza de Sua presença e a segurança de Seus passos guiando os meus. Ao meu querido irmão Hugo e minha cunhada Eliene, pelo companheirismo e cumplicidade em todos os momentos. Dedico essa conquista a vocês, fruto do amor incondicional e da confiança inabalável em mim. Vocês foram testemunhas das minhas lutas, conquistas e derrotas. Dias e noites de estudo e dedicação foram o reflexo de uma educação pautada no amor, carinho e confiança, os quais foram o fermento do meu crescimento.

Ao meu orientador, Professor Dr. Neimar Duarte, e meu coorientador, Professor Dr. Harley Torres, agradeço a orientação exemplar pautada por um elevado e rigoroso nível científico, um interesse permanente e fecundo, uma visão crítica e oportuna. Saibam que serei eternamente grata por seus apoios. Vocês não apenas me transmitiram o conhecimento científico, mas também me ensinaram a agir como profissional, compartilhando suas experiências e me ensinando a pensar.

Ao laboratório do IFMG – Campus Santa Luzia e, principalmente, ao técnico do laboratório, Leandro Evangelista, agradeço por auxiliar na realização dos ensaios. Obrigada pela dedicação do seu tempo e conhecimento.

Aos professores e demais servidores do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG – Campus Bambuí pela competência, apoio e ensinamentos que tanto adicionaram à minha formação.

Aos colegas do Mestrado por terem acreditado no meu ideal, pelo incentivo sempre que precisei, encorajando-me e impulsionando-me a lutar contra minhas dificuldades, em especial, Barbara Macedo, Bruno Fonseca, Mariana Gontijo e Shirley Soares, pela amizade construída.

Por fim, agradeço à Precon Engenharia, em especial a Marina Azeredo, que contribuíram para a concretização desta dissertação, estimulando-me intelectualmente, bem como no fornecimento de dados, matéria-prima e equipamentos para o desenvolvimento da pesquisa.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência”  
(Henry Ford)

## **RESUMO**

A pesquisa teve como objetivo principal avaliar a incorporação de agregados reciclados de concreto e cerâmica para a classe de resistência de 20 MPa, conforme os padrões mínimos exigidos pela norma técnica ABNT NBR 16416/2015. O estudo foi desenvolvido em quatro etapas. Na primeira etapa, realizou-se uma revisão sistemática da literatura que resultou em 07 (sete) artigos científicos voltados para a proposta do estudo. Na segunda etapa, foi realizado um estudo de caso da geração de resíduos da construção civil (RCC) entre duas obras de sistemas construtivos distintos, uma executada em alvenaria estrutural e outra em pré-moldado. Na terceira etapa, avaliou-se o comportamento da resistência mecânica e de permeabilidade do piso ecológico drenante. Isso envolveu a análise do agregado reciclado in natura, além de sua mistura com agregado natural (brita 0), que foram avaliados quanto à resistência à compressão aos 28 dias. Como não existe normatização para o uso de dosagens específicas do concreto permeável, para determinar o traço a ser utilizado no experimento, considerou-se algumas literaturas que apontaram a variação 1:3 (relação de cimento/agregado em massa). Estabeleceu-se o fator água/cimento no valor de 0,40 como ponto de partida durante a moldagem dos corpos de prova. De maneira geral, os grupos de resistência com teores de 45% e 65% de resíduos de concreto e cerâmica cumpriram os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 9781:2013.

**Palavras-chave:** Piso Drenante. Resíduos. Construção Civil. Permeabilidade.

## ABSTRACT

The main objective of the research was to evaluate the incorporation of recycled concrete and ceramic aggregates for the resistance class of 20 MPa, following the minimum standards required by the technical standard ABNT NBR 16416/2015. The study was conducted in four stages. In the first stage, a systematic review of the literature was conducted, resulting in seven scientific articles focused on the study proposal. In the second stage, a case study was carried out on the generation of construction waste (RCC) between two works that used different construction systems. One was executed in structural masonry, and the other in precast construction. In the third stage, the behavior of the mechanical resistance and permeability of the ecological draining floor was evaluated. This involved the analysis of recycled aggregate in natura, as well as its mixture with natural aggregate (gravel 0), which were assessed for compressive strength after 28 days. Since there is no standardization for the use of specific dosages of permeable concrete, the mix for the experiment was determined based on some literature indicating a 1:3 variation (cement/aggregate mass ratio). The water/cement factor was set at 0.40 as a starting point during the molding of the specimens. Generally, the resistance groups with contents of 45% and 65% of concrete and ceramic waste met the requirements established by ABNT NBR 9781:2013.

**Keywords:** Drainage floor. Waste. Construction. Permeability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO I

Cap I Figura 1- Fluxo da informação em relação às diferentes fases da revisão sistemática de literatura.....	25
--	----

### CAPÍTULO III

Cap III Figura 1 – Agregados reciclados de concreto (A) e agregado reciclado de cerâmica (B).....	63
Cap III Figura 2 – Agitador mecânico de peneira .....	64
Cap III Figura 3 - Betoneira - MB-120 litros .....	65
Cap III Figura 4 – Imagem de um exemplar de cada conjunto de amostra, sendo: (a) Amostra 1; (b) Amostra 2; (c) Amostra 3; (d) Amostra 4.....	66
Cap III Figura 5 – Corpo-de-prova no ensaio de resistência à compressão simples. ....	67
Cap III Figura 6 – Ensaio de permeabilidade .....	69
Cap III Figura 9 - Vista do britador (a) e do moinho (b).....	71
Cap III Figura 10 --- Resíduo de concreto retido nas peneiras: 37,5 mm (a); 19,0 mm (b); 9,5 mm (c); 4,75 mm (d); 2,36 mm (e) 1,18 mm (f); 0,6 mm (g); 0,30 mm (h); 0,15 mm (i); 0,15 mm > (j).....	72
Cap III Figura 11 - Resíduo de cerâmica retido nas peneiras: 37,5 mm (A); 19,0 mm (B); 9,5 mm (C); 4,75 mm (D); 2,36 mm (E) 1,18 mm (F); 0,6 mm (G); 0,30 mm (H); 0,15 mm (I); 0,15 mm > (J) .....	73

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Cap I Tabela 1 – Palavras-chave utilizadas e resultados obtidos .....	24
Cap I Tabela 2 – Critérios de seleção de estudos .....	26
Cap I Tabela 3 – Referências selecionadas para compor a revisão sistemática .....	28
Cap I Tabela 4 – Referências selecionadas para compor a revisão sistemática .....	29
Cap I Tabela 5 – Resultados dos ensaios.....	31
Cap I Tabela 6 – Resultados dos ensaios.....	34

### CAPÍTULO III

Cap III Tabela 1 – Relação dos traços adotados para a confecção dos pisos. ....	65
Cap III Tabela 2 – Ensaio de caracterização dos agregados reciclados. ....	66
Cap III Tabela 3 – Fator multiplicativo p. ....	67
Cap III Tabela 4 – Distribuição das frações granulométricas para cada um dos agregados reciclados. ....	70
Cap III Tabela 5 – Fator multiplicativo p. ....	74
Cap III Tabela 6 – Desvio padrão.....	74
Cap III Tabela 7 – ANOVA test. ....	75
Cap III Tabela 8 – Tukey test. ....	75
Cap III Tabela 9 – Wilcoxon Test .....	75
Cap III Tabela 10 – Tempos de percolação da água através do corpo de prova .....	77

### CAPÍTULO II

Cap II Quadro 1 – Gestão dos resíduos nos canteiros de obras. ....	46
Cap II Quadro 2 – Tipologia dos resíduos gerados em cada fase da obra.....	49
Cap II Quadro 3 – Classificação dos resíduos e sua destinação .....	51

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

### **CAPÍTULO III**

Cap III Equação 1 .....	68
-------------------------	----

## **LISTA ABREVIATURA E SIGLAS**

ATT	Área de Transbordo e Triagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
MPa	Mega Pascal
MTRs	Manifesto de Transporte de Resíduos
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PIB	Produto Interno Bruto
PRISMA	Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises
POP	Procedimento Operacional Padrão
RAC	Resíduo de agregado reciclado
RCC	Resíduo de construção civil
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RSU	Resíduos sólidos urbanos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Justificativa e relevância do tema da pesquisa .....</b>	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Geral .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Específicos .....</b>	<b>18</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>36</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>1.1 Gestão ambiental dos resíduos nos canteiros de obra.....</b>	<b>43</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>48</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>54</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>62</b>
<b>2.1 Materiais utilizados .....</b>	<b>62</b>
<b>2.2 Definição da distribuição granulométrica.....</b>	<b>63</b>
<b>2.3 Determinação do traço padrão.....</b>	<b>64</b>
<b>2.4 Execução dos ensaios.....</b>	<b>66</b>
<i>2.4.1 Ensaio de resistência à compressão simples</i>	<i>66</i>
<i>2.4.2 Ensaio de permeabilidade</i>	<i>68</i>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>70</b>
<b>3.1 Representatividade das frações graúda e miúda .....</b>	<b>70</b>
<b>3.2 Resistência à compressão simples .....</b>	<b>73</b>
<b>3.3 Permeabilidade .....</b>	<b>77</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>78</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO A – TERMO DE PARCERIA .....</b>	<b>83</b>

<b>ANEXO B – APRESENTAÇÃO DE TRABALHO NO VIII SEP.....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE – PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA (PTT) .....</b>	<b>85</b>

## **APRESENTAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A presente pesquisa é um requisito obrigatório para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental na área de Ciências Ambientais, com uma linha de pesquisa em Desenvolvimento Sustentável, junto ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí.

O trabalho inicia com uma introdução geral que aborda a relevância ambiental, econômica e social da utilização de Resíduos da Construção e Demolição (RCC) de Classe A (agregados de concreto e cerâmica) na produção de pisos permeáveis, em conformidade com as normas brasileiras vigentes. O objetivo é atingir as propriedades necessárias para a fabricação do produto. A pesquisa apresenta uma justificativa para a execução do estudo e os objetivos gerais e específicos visando alcançar ganhos ambientais com sustentabilidade na atividade.

O trabalho está dividido em quatro capítulos independentes, elaborados em forma de artigos, exceto o Produto Técnico Tecnológico (PTT), mas interligados de forma a abordar conjuntamente todos os objetivos específicos elencados na dissertação.

O Capítulo I, intitulado "Pavimentos Ecológicos Produzidos a partir de Resíduos da Construção e Demolição: uma revisão sistemática da literatura", realiza um levantamento das alternativas de utilização de RCC de Classe A, com foco na pavimentação. O capítulo emprega uma revisão sistemática da literatura seguindo a metodologia dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises (PRISMA) para apresentar o estado da arte e as evoluções científicas da última década sobre o assunto.

O Capítulo II, intitulado "Diagnóstico da situação de Resíduos da Construção Civil: avaliação de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis de pré-moldados", apresenta os resultados de um estudo de caso que caracteriza e quantifica os resíduos da construção civil. Foram avaliados dois projetos de habitação de interesse social com diferentes sistemas construtivos: alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados.

O Capítulo III, intitulado "Estudo Laboratorial usando Agregado Reciclado de Resíduo Sólido de Classe A em Bloco Poroso para Tráfego de Pedestres", apresenta os parâmetros de mistura fundamentais para definir as propriedades dos pisos. O objetivo é utilizar resíduos sólidos de Classe A da construção civil (concreto e cerâmica) como um agregado alternativo, seguindo a norma NBR 16416/2015 - Pavimentos permeáveis de concreto, que inclui amostragens mínimas de resistência mecânica, inspeção visual e permeabilidade.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A indústria da construção civil registrou um aumento nos últimos 10 anos, impulsionada especialmente pelos incentivos de programas habitacionais governamentais, como o programa "Casa Verde e Amarela". Com a crescente demanda por eficiência nos processos produtivos, surgiram sistemas construtivos voltados para uma indústria da construção civil que busca a racionalização de recursos naturais, visando minimizar os impactos ambientais, como o consumo reduzido de água, energia, matérias-primas e a diminuição na geração de resíduos sólidos (CALDAS et al., 2017).

Para preservar o meio ambiente, é crucial dispor adequadamente dos resíduos, exigindo o desenvolvimento de mecanismos para promover soluções sustentáveis e a implementação de tecnologias capazes de mitigar os impactos resultantes da disposição dos resíduos. Portanto, é necessário um estudo científico sobre o uso de Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC), buscando materiais inovadores, produtos e processos mais sustentáveis (FRANCISCO, 2019).

No Brasil, a composição do RCC é predominantemente formada por gesso, concreto, cerâmica, madeira, papelão, plástico, metal e produtos perigosos. Para enfrentar ou minimizar o impacto desses resíduos no meio ambiente, foram estabelecidos mecanismos legislativos e normativos para regular e fiscalizar a geração e destinação do RCC da construção civil. O arcabouço legal que abrange a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos inclui leis federais, estaduais e municipais, decretos, resoluções e políticas públicas, como:

- Lei Federal 9.605/1998 Crimes Ambientais;
- Lei Federal nº. 12.305/2010 Política nacional de resíduos Sólidos;
- PBPQ-H - Programa Brasileiro da Produtividade e Qualidade do Habitat;
- Resolução CONAMA nº. 307 – Gestão dos Resíduos da Construção Civil de 5 de julho de 2002 (Alterada pelas Resoluções nº. 348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015);
- NBR 15.112/2004 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15.113/2004 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR 15.114/2004 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.

A Resolução do CONAMA nº. 307/2002 classifica os resíduos em quatro categorias:

- Classe A: destinados à reutilização ou reciclagem na forma de agregados ou encaminhados a aterro de reservação para usos futuros;
- Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
- Classe C: resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação;
- Classe D: resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos e outros, bem como materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

No entanto, a reciclagem de RCC no Brasil ainda é pouco difundida. Dos 5.564 municípios, apenas 79 (1,42%) possuem programas de reutilização de agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos. Isso evidencia que a maioria dos RCC no Brasil não é reciclada (BRASILEIRO E MATOS, 2015).

Conforme o panorama da situação dos resíduos sólidos no Brasil, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, em 2021, foram geradas cerca de 47 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), correspondendo a 221,2 kg por habitante/ano. A região Sudeste representa 52% do total coletado no país, registrando aproximadamente 24,5 milhões de toneladas coletadas em um ano.

Nesse contexto, uma gestão adequada dos RCC é essencial para beneficiar empresas, população e meio ambiente. Materiais como blocos fabricados com agregados reciclados podem ser reutilizados, contribuindo para a pavimentação em vias urbanas (FRANCISCO, 2019).

O presente trabalho visa reutilizar os resíduos sólidos de Classe A (agregados de cerâmica e concreto) da construção civil de pré-moldados para a produção de pisos permeáveis em áreas externas, seguindo as normas brasileiras vigentes e buscando atender às propriedades necessárias para a fabricação do produto.

## 1.1 Justificativa e relevância do tema da pesquisa

A geração de resíduos na construção civil ocorre em diversas fases do ciclo de vida dos empreendimentos, como construção, manutenção, reformas e demolição. No contexto atual, destaca-se a fase de construção, onde as perdas nos processos construtivos se convertem em resíduos, ressaltando a necessidade de reduzir essa geração.

A legislação, como o artigo 8º da Lei nº 18.031/2009 de Minas Gerais, que trata da Política Estadual de Resíduos Sólidos, destaca a importância de estimular a gestão de resíduos sólidos no estado, incentivando a não-geração, redução, reutilização, reaproveitamento, reciclagem, geração de energia, tratamento e disposição final adequada. O poder público deve fomentar a ampliação do mercado para materiais reutilizáveis, reaproveitáveis e recicláveis.

Em busca de uma gestão sustentável na construção civil de pré-moldados, a pesquisa propõe o desenvolvimento de um piso ecológico permeável de baixo custo que atenda as normas técnicas. Esse piso utiliza resíduos sólidos de classe A, geralmente descartados de forma inadequada, contribuindo para a melhoria da drenagem urbana e reduzindo a quantidade de resíduos em aterros.

A proposta de reutilizar resíduos sólidos de classe A alinha-se ao conceito de sustentabilidade na construção civil, buscando uma tecnologia alternativa e uma produção mais sustentável com menor uso de recursos naturais. A pesquisa está diretamente conectada aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da agenda 2030, especialmente:

- ODS 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis;
- ODS 12: Consumo e Produção Responsáveis.

Para a construção civil de pré-moldados se manter de maneira sustentável, é crucial a preocupação com a destinação dos resíduos, o que se relaciona diretamente com a meta 11.6 dos ODS, que visa reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades até 2030, incluindo a gestão de resíduos municipais.

O trabalho justifica-se pela necessidade de diversificar a matriz econômica de forma sustentável e limpa, transformando os resíduos sólidos de classe A em subprodutos. O objetivo é alcançar a economia, minimizar os impactos ambientais e sociais, além de contribuir para o setor da construção civil de maneira mais sustentável.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O objetivo principal deste trabalho é analisar os aspectos físicos e o comportamento mecânico de agregados reciclados provenientes de resíduos sólidos de classe A (concreto e cerâmica) para produção de pisos ecológicos permeáveis, como alternativa aos agregados naturais tradicionalmente utilizados.

### **2.2 Específicos**

Com vistas à sustentabilidade do setor construtivo a condução dos seguintes objetivos específicos deverá ser seguida:

- Realizar o levantamento das formas de armazenamento e descarte dos resíduos sólidos de Classe A com vistas a identificação dos destinos ambientais por meio de uma revisão sistemática da literatura;
- Caracterização física dos resíduos gerados entre duas obras de sistemas construtivos distintos, sendo uma executada em alvenaria estrutural e outra em pré-moldado;
- Caracterização tecnológica por meio da avaliação da resistência mecânica e de permeabilidade do piso ecológico drenante, composto por resíduos de classe A (concreto e cerâmica) da construção civil de pré-moldados, conforme os padrões mínimos exigidos pela norma técnica NBR 16416:2015;
- Elaborar um artigo em revista técnica de engenharia e construção civil como resultado da pesquisa, no formato digital, com foco no processo produtivo do piso ecológico drenante, abordando as principais características e etapas de fabricação.

## REFERÊNCIAS

BRASILEIRO, L. L. e MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica [online]. 2015, v. 61, n. 358, p. 178-189. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>. Acesso em: 2 jul. 2022.

CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. de M. M. e SPOSTO, R. M. **Avaliação do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas.** Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida, v.1, p.138–167. Disponível em: <https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3823>. Acesso em: 2 jul. 2022.

FRANCISCO, J. T. M.; SOUZA, A. E. de e TEIXEIRA, S. R. **Construction and demolition waste in concrete: property of pre-molded parts for paving.** Cerâmica [online]. 2019, v. 65, n.1, p. 22-26. Available from: Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-6913201965S12595>. Acesso em: 02 jul. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009.** Diário executivo de Minas Gerais de 13 janeiro 2009. Diário Oficial de Minas Gerais, Poder Executivo. Belo Horizonte, MG.

MOTTA, R.S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.** Catálogo USP. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://10.11606/D.3.2005.tde-19072006-114729>. Acesso em: 25 jul. 2023.

**CAPÍTULO I - PAVIMENTOS ECOLÓGICOS PRODUZIDOS A PARTIR DE  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: uma revisão sistemática da  
literatura**

## RESUMO

O problema do resíduo de construção civil e demolição tem se agravado com o tempo, em decorrência do significativo desenvolvimento das cidades, gerando uma grande quantidade desse material. Apesar do descarte adequado, o acúmulo desse resíduo pode ocasionar diversos impactos ambientais negativos. O objetivo deste estudo foi verificar o estado da arte, por meio de uma revisão sistemática da literatura, das pesquisas relacionadas à aplicação do resíduo sólido de construção e demolição na produção de pisos drenantes. Portanto, realizou-se a seleção de artigos publicados nos últimos 10 anos (2012 a 2022), com base em termos múltiplos, em português e inglês. Os artigos selecionados nas etapas de elegibilidade e inclusão passaram por uma avaliação completa, fundamentando a etapa de discussão dos resultados apresentados nesta revisão sistemática. A estratégia de sumarização da informação considerou: i) aplicação prática e detalhamento metodológico; ii) classificação de periódicos segundo a Capes com avaliação quadrienal de 2013-2016 na área de ciências ambientais e engenharia, com publicação igual ou superior a B3. Utilizou-se um método qualitativo de análise dos artigos, resultando nos sete artigos a serem discutidos neste trabalho. Concluiu-se que o aproveitamento do resíduo como agregado proveniente da construção civil, utilizado como pavimento intertravado, pode ser empregado em calçadas, com o intuito de evitar a impermeabilização do solo, contribuindo assim para a preservação do meio ambiente.

**Palavras-chave:** Piso drenante. Agregados reciclados. Resíduos sólidos. Intertravado. Reciclagem. Construção civil.

## ABSTRACT

The construction and demolition waste are a problem that has been getting worse over time and the great development of cities that generate a large amount of this material, because despite the correct disposal, the accumulation of this material can cause several negative environmental impacts. The objective of this study was to verify the state of the art, through a systematic review of the literature, the research related to the application of solid residues of construction and demolition in the production of draining floors. Therefore, the selection of articles published in the last 10 years (2012 to 2022) was carried out, based on the use of multiple terms, in Portuguese and English. The articles selected in the eligibility and inclusion stages underwent

a complete evaluation, which supported the stage of discussion of the results presented in this systematic review. The information summarization strategy consisted of considering: i) it has practical application and methodological detail; ii) classification of journals according to Capes with a four-year evaluation from 2013-2016 in the area of environmental sciences and engineering, whose publication is equal to or greater than B3. To this end, a qualitative method of analyzing the articles was used, resulting in the seven articles to be discussed in this work. It was concluded that the use of waste as an aggregate from civil construction used as an interlocking pavement can be used for sidewalks, to avoid soil waterproofing, thereby helping the environment.

**Keywords:** Draining floor. Recycled aggregates. Solid waste. Interlocked. Recycling. Construction.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a demanda por construções mais produtivas, surgiram novos sistemas construtivos que visam uma indústria da construção civil mais racionalizada e industrializada, reduzindo o consumo de materiais e, conseqüentemente, a geração de resíduos. Desse modo, as empresas perceberam a importância da reciclagem de materiais, auxiliando no planejamento ambiental das cidades e contribuindo para o equilíbrio do meio ambiente (CALDAS et al., 2017).

Em 2021, o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil cresceu 9,7%, sendo um dos setores de grande importância no desenvolvimento do país. Portanto, é fundamental propor o descarte ambientalmente correto para os resíduos sólidos e outros componentes construtivos. Inicia-se, portanto, a partir da aprovação da Resolução 307 de 05 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a regulamentação da gestão adequada dos resíduos sólidos da construção civil, bem como o desenvolvimento econômico e social, aliado à manutenção da qualidade ambiental (CAMILO et al., 2022).

As cidades brasileiras nos últimos anos vêm apresentando um intenso processo de urbanização. Estima-se que entre 40% e 75% dos recursos naturais existentes são consumidos por esse setor, causando, assim, a geração de 25% de resíduos sólidos provenientes da construção civil. Neste contexto, deve-se impulsionar, quando possível, o seu uso ou reciclagem ao invés do descarte em aterros ou locais inadequados (CAMILO et al., 2022).

A geração dos resíduos da construção civil em cidades de grande e médio porte corresponde a aproximadamente 41% a 71% da massa dos resíduos sólidos urbanos, o que significa que a quantidade de Resíduos de Construção Civil (RCC) gerada no Brasil gira em torno de 400 a 500 kg/hab./ano. No entanto, a geração de resíduos de várias classes frequentemente é descartada de maneira irregular, em aterros destinados a outras categorias. Pode-se afirmar que aproximadamente 80% dos resíduos pertencem à “Classe A”, caracterizados como resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como agregados, podendo ser reaproveitados no canteiro de obras (SILVA e CASTRO, 2019).

Como forma de compreender o comportamento da permeabilidade e da resistência em blocos de concreto porosos produzidos com resíduos de Classe A da construção civil, a presente revisão sistemática da literatura busca analisar as contribuições científicas da última década das principais utilizações do agregado reciclado no concreto permeável.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A partir da definição dos objetivos descritos, foram realizadas buscas de artigos que abordam as principais utilizações do agregado reciclado no concreto permeável. Devido à ampla utilização e relevância no meio acadêmico e científico, por ser uma base multidisciplinar com os periódicos mais citados de cada área e um índice de citações, a plataforma Periódicos Capes foi escolhida para essa busca. A fim de obter mais resultados e garantir maior robustez à revisão, foram realizadas buscas também nas plataformas *Science Direct*<sup>1</sup>, Google Acadêmico<sup>2</sup> e *SciELO Citation Index*<sup>3</sup>

As palavras-chave utilizadas nas bases de busca e os resultados obtidos podem ser observados na Cap I Tabela 1. Para obtenção de dados científicos atualizados, foram selecionados apenas os artigos publicados nos últimos 10 anos (2012 a 2022) e revisados por pares, excluindo assim a literatura considerada cinzenta.

Inicialmente, foram utilizados os termos "Pavimentos ecológicos" e "*Eco-friendly pavements*". Como o resultado encontrado, de 30.208 artigos, foi considerado amplo e incluía artigos fora do objetivo principal, a busca inicial foi desconsiderada. Foi realizada uma nova busca com os termos "Pavimentos ecológicos" AND "Agregados reciclados" OR "Intertravado" OR "Piso Drenantes" AND "Resíduos de construção e demolição" e "*Eco-friendly pavements*" and "*Recycled aggregates*" or "interlocked" and "Recycling" or "*Draining floor*" and "*Construction and demolition waste*", resultando em 985 artigos para análise.

Cap I Tabela 1 – Palavras-chave utilizadas e resultados obtidos

Palavras-chave (português e inglês)	Periódico Capes	Science Direct	Google Acadêmico	SciELO
"Pavimentos ecológicos "	260	9	15.900	0
"Eco-friendly pavements"	1.012	1.427	11.600	0
<b>Total preliminar</b>			<b>30.208</b>	
"Pavimentos ecológicos" e "Agregados reciclados" ou "Intertravado" ou "Piso Drenantes" e "Resíduos de construção e demolição"	12	3	43	108
"Eco-friendly pavements" and "Recycled aggregates" or "interlocked" and "Recycling" or "Draining floor" and "Construction and demolition waste"	431	7	205	179
<b>Total</b>			<b>985</b>	

<sup>1</sup> <https://www.sciencedirect.com/>

<sup>2</sup> <https://scholar.google.com.br/?hl=pt/>

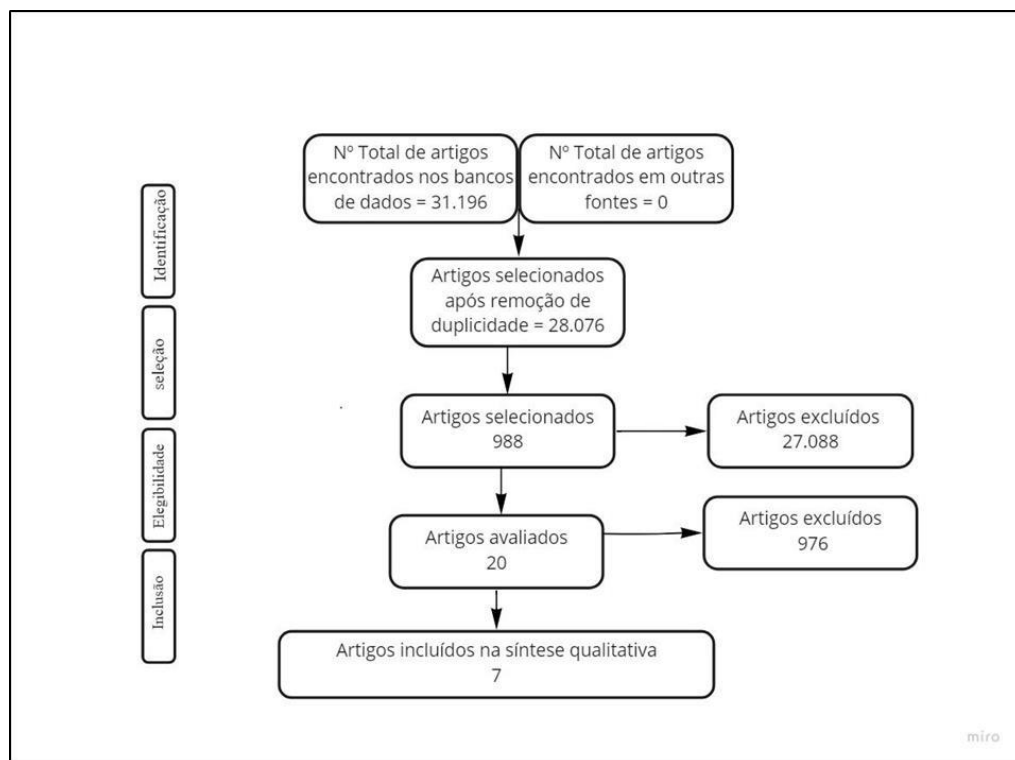
<sup>3</sup> <https://www.scielo.br/>

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

O processo de seleção dos artigos para a produção deste trabalho seguiu as diretrizes propostas no fluxograma de análise das diferentes fases de elaboração de uma revisão sistemática.

Cap I Figura 1- Fluxo da informação em relação às diferentes fases da revisão sistemática de literatura, apresenta o fluxograma de Principais Itens para Relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises (PRISMA), conforme modelo proposto por Moher et al. (2009), contendo o fluxo de retornos das fases de elaboração e seleção dos artigos utilizados na presente revisão.

Cap I Figura 1- Fluxo da informação em relação às diferentes fases da revisão sistemática de literatura



Fonte: Elaborada pela autora, 2022 (com base nas propostas de Moher et al. 2009).

Os artigos retornados foram exportados no modelo de formatação bibliográfica BibTex para o software Start (2017). A ferramenta de código livre, desenvolvida no Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da UFScar, foi utilizada para auxiliar na identificação, exclusão e seleção final dos artigos obtidos inicialmente pelas buscas nas bases de dados do Periódicos Capes, Google Acadêmico, Science Direct e Scielo. No processo de sistematização

de dados dos artigos selecionados, foram inicialmente excluídos os artigos duplicados (28.076); em seguida, aplicados os critérios de inclusão ou exclusão, que podem ser observados na Cap I Tabela 2.

Cap I Tabela 2 – Critérios de seleção de estudos

Inclusão	Exclusão
Aborda utilização de agregados reciclados	Não apresenta texto completo disponível
Aborda pavimentação com utilização de resíduos da construção civil	Não apresenta resumo
Escrito em português e inglês	Não aborda resíduos da construção e demolição como pavimentação
	Literatura cinzenta
	Artigo não publicado em periódico

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Após a leitura dos títulos, palavras-chave e resumos dos artigos selecionados, apenas sete atenderam aos critérios de inclusão e exclusão aplicados. Posteriormente a essa classificação, os artigos foram lidos na íntegra e passaram pelos critérios qualitativos para sumarização.

A estratégia de sumarização dos artigos incluídos para revisão consistiu na avaliação qualitativa da aplicação prática, detalhamento metodológico do artigo e na classificação do periódico de publicação segundo a Capes, igual ou superior a B2 na classificação unificada (2019) e/ou nas áreas de ciências ambientais ou interdisciplinar (2013/2016) do Qualis/CAPES da Plataforma Sucupira. Após a sumarização dos relatos, resultou então em sete artigos a serem discutidos neste trabalho.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após a aplicação dos critérios qualitativos e a sumarização dos resultados, chegou-se aos sete artigos que podem ser observados na Cap I Tabela 3 e que serão discutidos no presente trabalho.

Cap I Tabela 3 – Referências selecionadas para compor a revisão sistemática

Autores	Periódico	Título	Objetivo	Classificação e ano da publicação	Citações
F. López Gayarre, C. López-Colina, M.A. Serrano, A. López-Martínez	Construction & Building Materials	Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW	Solucionar o problema de geração de resíduos de construção e demolição utilizando agregados reciclados de resíduos de construção e demolição por meio da fabricação de dois produtos pré-moldados de grande utilidade: meios-fios e lajes	A1 - 2013	43
Andrés Juan-Valdés, Desirée Rodríguez-Robles, Julia García-González, Manuel Ignacio Guerra-Romero, Julia María Morán-del Pozo	Journal of Cleaner Production	Mechanical and microstructural characterization of non-structural precast concrete made with recycled mixed ceramic aggregates from construction and demolition wastes	A pesquisa compara os meios-fios e blocos de pavimentação reciclados feitos com uma taxa de substituição de 50% de agregados cerâmicos mistos reciclados pré-saturados com os elementos convencionais não estruturais de concreto pré-moldado	A1 - 2018	53
Guoyang Lu, Pengfei Liu, Yuhong Wang, Sabine Faßbender, Dawei Wang, Markus Oeser,	Journal of Cleaner Production	Development of a sustainable pervious pavement material using recycled ceramic aggregate and bio-based polyurethane binder	Um novo material de pavimento permeável é desenvolvido substituindo o agregado natural por agregado cerâmico reciclado e substituindo o betume por um ligante de poliuretano (PU) de base biológica.	A1 - 2019	92
Tavares Lm, Kazmierczak Cs	Revista Ibracon de Estruturas e Materiais	The Influence of Recycled Concrete Aggregates In Pervious Concrete	Concreto permeável com o uso de agregados reciclados de concreto como uma alternativa para pavimentação	A3 - 2016	16

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Cap I Tabela 4 – Referências selecionadas para compor a revisão sistemática

Autores	Periódico	Título	Objetivo	Classificação e ano da publicação	Citações
Pederneiras CM, Durante MDP, Amorim ÊF, Ferreira RL da S.	Revista Ibracon de Estruturas e Materiais	Incorporation Of Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in Paver Block	Analisar o comportamento de blocos de concreto produzidos com RCD. A substituição foi de 100% de agregados naturais miúdos e graúdos por agregados reciclados	A3 - 2020	11
Adilson C. Paula Junior, Cláudia Jacinto ,Thaís M. Oliveira ,Antonio E. Polisseni ,Fabio M. Brum ,Elisabete R. Teixeira e Ricardo Mateus	Crystals	Characterisation and Life Cycle Assessment of Pervious Concrete with Recycled Concrete Aggregates	Analisar a influência dos agregados reciclados de concreto (RCAs) no desenvolvimento de concreto permeável, cuja utilização como revestimento de piso representa um excelente artifício para mitigar os fenômenos de impermeabilização do solo urbano	B1- 2021	15
Mikami RJ, Kruger P, Pereira E, Kummer ACB, Döll MMR	Revista Matéria	Influência do teor de cerâmica vermelha do agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável	Analisar a influência da composição dos agregados reciclados na resistência e permeabilidade do concreto poroso. Para isso, agregados contendo teores de resíduo de cerâmica vermelha de 10, 25, 50 e 100% foram obtidos pela mistura de um resíduo de construção e demolição (com 2,92% de cerâmica) e resíduos de blocos cerâmicos	B1 - 2017	10

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Segundo F. Lopez-Gayarre et al. (2013), foram utilizados agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para fabricação de meios-fios e blocos para piso, provenientes de resíduos de alvenaria. O concreto foi compactado no molde de aço e, após alguns minutos, os meios-fios e os blocos de piso foram extraídos e enviados diretamente para a área de cura, onde permaneceram por 28 dias antes do uso. Foram fabricados seis blocos de piso contendo resíduos de concreto e seis contendo resíduos de alvenaria. As amostras para a resistência à flexão, absorção e resistência à carga foram testadas conforme EN 1340 e EN 15037-2. Os pesquisadores observaram que os meios-fios fabricados com agregados reciclados de resíduos de alvenaria apresentam maior resistência à flexão do que os meios-fios fabricados com os agregados reciclados de resíduos de concreto. Os resultados mostraram que é possível fabricar meios-fios com um percentual de reposição de 70% (Cap I Tabela 5).

Cap I Tabela 5 – Resultados dos ensaios.

Nº das Amostras	% de Resíduos	Agregados Reciclados Concreto			Agregados Reciclados Alvenaria		
		Carga (KN)	Força MPa	Absorção (%)	Carga (KN)	Força MPa	Absorção (%)
1	0	33,2	3,9	5,9	24,2	5,7	4,0
2	0	34,8	4,0	6,3	21,8	5,1	4,2
3	0	35,1	4,1	6,3	23,1	5,4	4,1
4	0	33,9	3,9	6,2	22,4	5,3	4,1
5	0	34,1	4,0	6,3	23,4	5,5	4,0
6	0	34,8	3,9	6,0	24,3	5,7	4,1
7	0	35,1	4,1	6,3	24,6	5,8	4,2
8	0	34,0	3,9	6,3	23,7	5,6	4,0
9	20	36,8	4,2	6,0	24,2	5,7	5,1
10	20	36,8	4,2	6,0	24,2	5,7	5,1
11	20	38,6	4,4	5,7	23,3	5,5	5,0
12	20	35,4	4,1	5,9	23,7	5,6	5,1
13	20	36,7	4,3	6,1	22,8	5,4	5,0
14	20	36,0	4,2	6,2	22,4	5,3	5,2
15	20	35,9	3,8	5,8	21,7	5,1	5,2
16	20	38,2	4,1	6,0	24,4	5,7	5,0
17	50	41,4	4,6	7,3	21,7	5,1	6,9
18	50	38,4	4,3	6,8	20,7	4,9	7,1
19	50	40,2	4,5	6,7	22,6	5,3	6,7
20	50	37,8	4,3	7,1	21,5	5,0	6,9
21	50	40,3	4,5	7,2	22,9	5,4	6,8
22	50	41,2	4,6	6,5	20,6	4,9	7,0
23	50	40,4	4,4	7,0	22,2	5,2	6,9
24	50	40,5	4,2	6,8	21,8	5,1	7,0
25	70	39,1	4,2	8,5	19,2	4,5	8,5
26	70	34,2	3,7	8,3	18,7	4,4	8,3
27	70	43,8	4,7	7,5	20,1	4,7	7,9
28	70	39,3	4,3	8,1	17,5	4,1	8,2
29	70	41,2	4,4	8,3	19,8	4,6	8,4
30	70	35,3	3,9	8,4	17,4	4,1	8,2
31	70	36,7	4,1	7,5	20,5	4,8	8,0
32	70	42,6	4,6	8,2	19,4	4,5	8,3
33	100	27,0	3,1	11,3	16,7	3,9	9,6
34	100	28,8	3,3	10,5	14,3	3,3	10,1
35	100	35,3	4,0	9,5	15,1	3,5	10,0
36	100	30,3	3,6	10,5	16,2	3,8	9,8
37	100	29,2	3,5	10,4	14,6	3,4	10,0
38	100	34,7	4,1	10,1	16,4	3,8	9,9
39	100	29,1	3,2	11,5	15,7	3,7	9,9
40	100	28,6	3,0	9,6	16,9	3,9	10,1

Fonte: Elaborada pela autora, 2022. Adaptado de F. Lopez-Gayarre *et al.* (2013).

Juan-Vald et al. (2018) estudaram o reaproveitamento de agregados reciclados compostos por uma mistura heterogênea de agregados naturais, concreto e resíduos cerâmicos (variando de 30% a 70%) para a produção de meio-fio e blocos de pavimentação. Os pesquisadores relataram que os elementos pré-moldados reciclados apresentaram uma resistência à compressão característica de 29,70 MPa. Quanto à resistência à flexão, a média das amostras foi de 4,71 MPa. Portanto, os elementos pré-moldados devem ser considerados Classe 1 ( $2,8 \text{ MPa} < X < 5,0 \text{ MPa}$ ), de acordo com a norma da Espanha EN 1340, o que os qualifica para uso em áreas com tráfego ligeiro.

De acordo com Tavares et al. (2016), foi avaliada a eficiência do concreto permeável com o uso de agregados reciclados de concreto por meio de ensaios de permeabilidade, consistência e resistência mecânica. Para o estudo, foi utilizada uma mistura com 50% de agregado natural e 50% de agregado reciclado provenientes de resíduos do processo produtivo de pré-fabricados de concreto. Além disso, em três traços contendo concreto com agregado reciclado, foram adicionadas fibras de vidro.

Os resultados apontaram valores de resistência à compressão de aproximadamente 20 MPa, conforme previsto na norma NBR 9781:2013. Também, os resultados apresentaram um bom coeficiente de permeabilidade, isto é, superiores a 10-4 m/s em todas as amostras ensaiadas, com exceção de uma que, devido ao elevado consumo de cimento, teve sua permeabilidade reduzida e não pôde ser classificada como permeável.

Conforme destacado por Pederneiras et al. (2018), sugeriram analisar o desempenho dos blocos de concreto em três condições diferentes do agregado reciclado: seco, lavado e saturado. A resistência à compressão foi avaliada nos tempos de cura de 7, 14, 28 e 365 dias, com seis blocos para cada amostra. Os testes indicaram que, para as amostras com areia reciclada seca, agregado graúdo natural e agregado reciclado lavado, a taxa de absorção de água aos 28 dias foi inferior a 5%, atendendo aos requisitos da ABNT NBR 9781/2013.

Em relação à resistência mecânica, com 28 e 365 dias de cura, apresentaram um ótimo desempenho para o concreto produzido com areia reciclada lavada e agregado graúdo natural. Portanto, os autores concluíram que os blocos produzidos com agregados reciclados lavados apresentaram resultados satisfatórios em todas as propriedades e podem ser utilizados em estradas de baixa carga, como calçadas, jardins e ruas.

Já Mikami et al. (2018) avaliaram a influência do teor de cerâmica vermelha no agregado reciclado em seis composições de agregados utilizadas na confecção dos pisos e verificaram o efeito da permeabilidade e resistência do material, conforme a ABNT NBR 15116/2004. Para a elaboração das composições, utilizaram-se resíduos de cerâmica vermelha e de concreto. Após 28 dias de cura, concluíram que todas as amostras de pisos apresentaram um coeficiente de permeabilidade superior a  $0,10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ , sendo os valores obtidos cerca de oito a nove vezes superiores ao valor mínimo. Esses valores são suficientes para drenar as águas pluviais pelo pavimento.

Quanto à resistência à compressão, o melhor valor foi obtido com 100% de resíduo de concreto, resultando em 10,15 MPa. Entretanto, nas demais amostras contendo material cerâmico, a resistência foi inferior a 3,00 MPa.

Deste modo, os autores indicam que o material produzido com resíduo de concreto deve ser usado para o tráfego leve, pedestres e estacionamentos. Além disso, eles acreditam que o concreto permeável é um material que atende simultaneamente aos requisitos mínimos de permeabilidade. Os resultados da caracterização dos seis pisos permeáveis estão expostos na Cap I Tabela 6.

Cap I Tabela 6 – Resultados dos ensaios.

<b>Amostras</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidade</b>	<b>Resistência Compressão (MPa)</b>	<b>Índice de Volume de Vazios (%)</b>	<b>Absorção Água (%)</b>	<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Específica Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Agregado Natural	0,958	8,84	36,47	04,02	2,94	01,67
100% resíduo de concreto	0,932	10,15	32,13	5,29	2,86	1,67
10% cerâmica + 90% resíduos concreto	0,879	2,95	36,72	8,47	2,59	1,34
25% resíduos cerâmica + 75% resíduos concreto	0,828	3,20	37,21	10,59	2,60	1,28
50% resíduos cerâmica + 50% resíduos concreto	0,832	2,66	37,35	14,89	2,61	1,18
100% resíduo de cerâmica	5	5	6	6	6	6

Fonte: Elaborada pela autora, 2022. Adaptado de Mikami *et al* (2018).

Guoyang Lu et al. (2019) desenvolveram um material de pavimento permeável usando agregado cerâmico reciclado com poliuretano de base biológica. O agregado reciclado, constituído de cerâmica triturada, foi obtido a partir de resíduos de demolição de vasos sanitários. Os resultados apontaram que as amostras com material reciclado apresentam deformações máximas mais baixas e têm melhor estabilidade em comparação com o pavimento convencional. Em relação à tração, o material reciclado possui propriedades mais resistentes em comparação ao pavimento convencional.

No que diz respeito ao coeficiente de permeabilidade, os resultados mostram que as amostras de pavimento cerâmico reciclado apresentam uma condutividade hidráulica muito maior do que as amostras de pavimento convencional. A estrutura dos poros também é um parâmetro importante que influencia a permeabilidade do pavimento reciclado, devido às propriedades viscoelásticas distintas do poliuretano antes da cura. Isso resulta na geração de estruturas de poros uniformemente distribuídas em todas as amostras, facilitando uma maior conectividade de poros em comparação com o pavimento convencional.

Por último, Paula Junior et al. (2021) analisaram a permeabilidade do concreto à base de resíduos de construção e demolição, visando minimizar os custos de produção e maximizar o desempenho ambiental dentro dos parâmetros técnicos, respeitando as recomendações da norma brasileira ABNT NBR 16416/2015, que regulamenta o uso de pavimentos de concreto permeável no Brasil. Os autores relataram que ao utilizar o agregado reciclado, o concreto tende a tornar-se mais poroso e permeável. Portanto, os testes de densidade apontaram uma média de  $1678,9 \text{ kg/m}^3$ . De acordo com a ABNT NBR 16416/2015, o valor obtido deve ser igual ao especificado no projeto,  $1600 \text{ kg/m}^3$ , com tolerância de  $80 \text{ kg/m}^3$ .

Paula Junior et al. (2021) concluíram que o material à base de resíduos de construção e demolição pode ser utilizado como revestimento de piso para tráfego de pedestres, com espessura mínima de 6 cm, bem como para tráfego de veículos leves. Além disso, eles relataram que os valores encontrados nas amostras atendem à faixa de 10–13 MPa para resistência à compressão projetada, e que o material é indicado para ser utilizado em áreas de estacionamentos.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso de resíduos de construção civil (RCC) como agregados reciclados é uma prática que tem sido analisada nos últimos anos, representando um avanço para a sustentabilidade no setor da construção civil. Essa abordagem reduz a exploração de recursos naturais e oferece uma alternativa adequada para o descarte de entulho de concreto, enquadrando-se na Classe A da Resolução 307 de 05 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Essa prática permite a produção de novos materiais de construção civil.

Além disso, o uso de agregados reciclados na pavimentação permeável surge como uma medida alternativa, capaz de reduzir o volume do escoamento superficial, favorecendo a infiltração e a retenção da água no subsolo.

Os resultados indicam que o desempenho da resistência à compressão dos concretos permeáveis utilizando agregado reciclado é geralmente inferior ao concreto convencional. Nesse sentido, estudos mais aprofundados deverão ser conduzidos para identificar melhorias na resistência mecânica, bem como explorar novas aplicações para esse material residual.

Apesar da redução sistemática das propriedades mecânicas, a resistência à flexão dos materiais com o uso de agregados reciclados é aceitável para o dimensionamento de pavimentos permeáveis em passeios e caminhos naturais. Adicionalmente, os estudos indicaram um efeito benéfico em relação à infiltração de água com 50% e 100% de agregados reciclados.

Em resumo, este estudo destaca o grande potencial do uso de agregados reciclados na produção de concreto permeável. Os benefícios econômicos e ambientais associados à aplicação de revestimentos de concreto permeável em pavimentos urbanos podem ser otimizados com o uso de resíduo de agregado reciclado (RAC). Portanto, há necessidade de realizar novos estudos sobre esse tipo de material, incluindo uma análise mais aprofundada de seu desempenho e sua relação com a redução do escoamento urbano. Além disso, é importante avaliar como ele pode contribuir com outras dimensões da sustentabilidade (social e econômica) para obter uma visão mais abrangente do potencial de sustentabilidade do concreto permeável à base de RAC.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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. Seção 1, p. 95-96.

CALDAS, L. R.; LIRA, J.S.M.M.; SPOSTO, R.M. Avaliação do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. **LALCA: Revista Latino- Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, p.138–167, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3823>. Acesso em: 12 jul.2022.

CAMILO, B. Q; CARDOSO, C.N.P.; BATISTA, S.B.S; MARQUES, A.T. Solid waste in construction: management analysis of impacts impacted on the environment. **Research, Society And Development**, v. 11, n. 2, 2022. Disponível em: <https://Rsdjournal.Org/Index.Php/Rsd/Article/View/20994>. Acesso em: 24 abr.2022.

GAYARRE, F.L.; LÓPEZ-COLINA, C.; SERRANO, M.A. Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW. **Research, Construction and Building Materials**, p. 1193–1199, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.040>. Acesso em: 12 jul.2022.

GUOYANG L.; PENGFEI, L.; YUHONG, W. B.; Development of a sustainable pervious pavement material using recycled ceramic aggregate and bio-based polyurethane binder. **Journal Of Cleaner Production**, v.220, p.1052-1060, 2019. Disponível em: <https://Doi.Org/10.1016/J.Jclepro.2019.02.184>. Acesso em: 10 jul. 2022.

JUAN-VALDÉS, A.; RODRÍGUEZ-ROBLES, D.; GARCÍA-GONZÁLEZ, J.; GUERRA-ROMERO, M.I.; MORÁN-DEL Pozo, J.M. Mechanical and microstructural characterization of non-structural precast concrete made with recycled mixed ceramic aggregates from construction and demolition wastes. **Journal Of Cleaner Production**, v.180, p. 482– 493, 2018. Disponível em: [10.1016/J.Jclepro.2018.01.191](https://doi.org/10.1016/J.Jclepro.2018.01.191). Acesso em: 30 mai. 2022.

JUNIOR, A.C.; Jacinto, C.; Oliveira, T.M; Polisseni, A. E; Brum, F.M; Teixeira, E.R.; Mateus,R.. Characterisation and life cycle assessment of pervious concrete with recycled concrete aggregates. **Crystals**, v.11, p.209, 2021. Disponível em: <https://Doi.Org/10.3390/Cryst110202>. Acesso em: 30 abr. 2022.

MIKAMI, R. J.; KRUGER, P.; PEREIRA, E., KUMMER, A. C. B.;DÖLL, M. M. R.. Influência do teor de cerâmica vermelha do reciclado nas propriedades do concreto permeável. **Revista Matéria**, v. 23, 2018. Disponível em: [10.1590/S1517-707620180003.049](https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.049). Acesso em: 30 abr. 2022.

MOHER, D., Liberati, A; Tetzlaff, J., Altman, D. G;. **PRISMA Group**: Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement. *BMJ*

2009. Tradução Taís Freire Galvão e Thais de Souza Andrade Pansani; retro-traduzido por: David Harrad. Disponível em: [http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1679-49742015000200017](http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742015000200017). Acesso em: 5 fev.2022.

PEDERNEIRAS, C. M., DURANTE, M. D. P., AMORIM, Ê. F., & FERREIRA, R. L. DA S.. Incorporation of recycled aggregates from construction and demolition waste in paver blocks. **Rev. Ibracon Estrut [online]**, v.13, 2020. Disponível em: [://Doi.Org/10.1590/S1983-41952020000400005](https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000400005). Acesso em: 29 abr.2022.

SILVA, L. A. e CASTRO, M. C. A. Cenário do gerenciamento dos RCC no município de São José do Rio Preto - SP. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 23, p. 79-93, 2020. Disponível em: [Https://Www.Revistarebram.Com/Index.Php/Revistauniara/Article/View/666](https://www.revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/666). Acesso em: 12 jul.2022.

TAVARES, L. M. e KAZMIERCZAK, C. S. The influence of recycled concrete aggregates in pervious concrete. **Revista Ibracon Estrut**, p. 75–89, 2016. Disponível em: [Https://Doi.Org/10.1590/S1983-41952016000100006](https://doi.org/10.1590/S1983-41952016000100006). Acesso em: 27 abr.2022.

**CAPÍTULO II - DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL: avaliação de habitações de alvenaria estrutural de blocos  
cerâmicos e painéis de pré-moldados**

## RESUMO

A presente pesquisa apresenta a comparação da geração de resíduos da construção civil (RCC), entre duas obras de sistemas construtivos distintos, sendo uma executada em alvenaria estrutural e outra executada em pré-moldados. Foram analisados o Plano de Gerenciamento de Resíduos das obras e o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), verificando como era realizada a gestão dos RCC's gerados na obra. Posteriormente realizou-se a quantificação do volume de RCC's de Classe A e após foi comparado estes volumes, possibilitando a análise de qual processo construtivo gerou a menor quantidade de resíduo da classe A. Observou-se que no sistema construtivo em alvenaria estrutural resultou em uma maior quantidade de geração de resíduos, resultando em 203,52 toneladas a mais que o sistema de pré-moldado. Em um momento em que se fala muito sobre sustentabilidade, dar uma atenção maior aos resíduos da construção é extremamente importante. Neste sentido, são necessárias práticas que visam a diminuição dos resíduos dentro do próprio canteiro de obra. Dessa maneira, surge a concepção de medidas que objetivam a sua redução e reutilização.

**Palavras-chave:** Construção Civil. Métodos Construtivos. Resíduos Sólidos. Alvenaria. Pré-moldados.

## ABSTRACT

This research presents a comparison of the generation of civil construction waste (RCC), between two works of different construction systems, one executed in structural masonry and the other executed in precast. The Waste Management Plan of the works and the Waste Transport Manifest (MTR) were analyzed, verifying how the management of the RCC's generated in the work was carried out. Subsequently, the quantification of the volume of Class A RCC's was carried out and after these volumes were compared, enabling the analysis of which construction process generated the least amount of class A waste. It was observed that the constructive system in structural masonry resulted in a greater amount of waste generation, resulting in 203.52 tons more than the precast system. At a time when there is a lot of talk about sustainability, giving greater attention to

construction waste is extremely important. In this sense, practices aimed at reducing waste within the construction site are necessary. In this way, the conception of measures that aim at its reduction and reuse arises.

**Keywords:** Construction. Constructive Methods. Solid Waste. Masonry. Precast.

## 1 INTRODUÇÃO

Em 2020, segundo a ABRELPE (2021), foram coletadas nos municípios cerca de 47 milhões de toneladas de resíduos de construção civil (RCC) pelas empresas de limpeza pública. Isso representa um crescimento de 5,5% em relação aos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no país, sendo a quantidade coletada de 221,2 kg por habitante/ano.

Entre os RSU, os RCD provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil têm apresentado um aumento considerável de volume (SCREMIN et al., 2014). É necessário que desde a etapa de elaboração do projeto arquitetônico de uma edificação sejam tomadas decisões que reduzam as taxas de geração de resíduos. Dentre essas decisões, incluem-se a escolha de materiais de construção de baixo impacto ambiental, sistemas construtivos mais eficientes, controle efetivo das operações e aprimoramento do detalhamento do projeto executivo. Diante disso, o planejamento e a implementação de práticas para minimizar desperdícios e incentivar a reciclagem são essenciais. A inserção da preocupação com a sustentabilidade no setor da construção civil é crucial para a redução do impacto ambiental das obras (FERNANDES et al., 2019).

Os aterros para RCC, denominados como aterros de resíduos inertes ou de resíduos classe A existentes nos municípios brasileiros, continuam armazenando os resíduos misturados com as demais classes, devido à falta de triagem nos canteiros de obras. Além disso, o uso dos agregados reciclados (AR) em substituição aos agregados naturais (AN) ainda encontra resistência por parte dos profissionais do setor da construção civil (ROSADO et al., 2020).

Nos últimos anos, o setor da construção civil brasileira vem realizando esforços nas soluções que visam substituir os tradicionais métodos de construção por produtos e serviços voltados à redução de prazos, custos, materiais e recursos naturais, garantindo, com qualidade, o desempenho das edificações e também causando menor impacto ambiental (BERR e FORMOSO, 2012).

Os quantitativos (volume e peso) dos resíduos a serem gerados por uma determinada obra estão relacionados a diversos fatores, dentre os quais se destacam métodos construtivos, qualidade e manejo (transporte, armazenamento e utilização) dos

materiais empregados, qualificação da mão de obra, existência ou não de gerenciamento de resíduos, entre outros (PEDRO et al., 2018).

Neste sentido, nos projetos de alvenaria estrutural, os blocos cerâmicos devem possuir resistência e estabilidade, além de exercer a função de vedação; são constituídos de blocos ou tijolos unidos entre si por argamassa, graute e armaduras (CALDAS et al., 2017).

Em relação ao sistema construtivo de pré-moldados, a estrutura é formada por painéis de tijolos cerâmicos com revestimento em concreto ou argamassa, já com esquadrias e instalações embutidas. Na produção deste componente, as empresas buscam os princípios de sustentabilidade como paginação da alvenaria, concretagem sem perdas, fôrmas metálicas que são reutilizadas e dispensa o uso da madeira (ZEULE e SERRA, 2015).

Dessa forma, o presente capítulo visou a caracterização e quantificação de resíduos da Construção Civil de habitações que possuem dois dormitórios, uma sala, uma cozinha e um sanitário. Foram avaliados dois projetos de habitação de interesse social com diferentes sistemas construtivos de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e os painéis pré-moldados.

## **1.1 Gestão ambiental dos resíduos nos canteiros de obra**

Na busca de alternativas para a minimização das perdas geradoras de resíduos nas atividades da construção civil, Medeiro e Silva (2016) apontam a necessidade de planejamento nos canteiros de obras. Isso envolve o arranjo físico das estruturas, materiais e equipamentos, treinamentos dos funcionários, métodos de trabalho, orçamento, escolha de materiais e, principalmente, na execução. A minimização dessas perdas pode ser alcançada por meio da escolha de materiais certificados e com embalagens que facilitem o manuseio sem o risco de perdas, pela capacitação da mão de obra e pelo uso de equipamentos com tecnologia de ponta adequada aos processos construtivos.

Toda atividade na construção civil gera, inevitavelmente, alguma perda. No entanto, como essas perdas ocorrem em locais e momentos distintos, a simples separação prévia desses materiais evitaria a contaminação dos rejeitos que ocorre nos "containers"

destinados à sua remoção do canteiro de obras. Restos de madeira, gesso, materiais metálicos e plásticos devem ter destinos específicos, de acordo com seu potencial para reciclagem ou grau de contaminação.

Os aspectos considerados na gestão de resíduos abordados a seguir dizem respeito à organização dos canteiros analisados e aos dispositivos e acessórios que serão utilizados para viabilizar a coleta e a limpeza das obras. No que se refere ao fluxo dos resíduos nos interiores das obras, são descritas condições para o acondicionamento inicial, o transporte interno e o acondicionamento final.

Há considerações gerais sobre a possibilidade de reutilização ou reciclagem dos resíduos dentro dos próprios canteiros, que prezam pela correta estocagem dos diversos materiais. A boa organização evita desperdícios na utilização e aquisição dos materiais, implicando também na redução dos custos de transporte externo e destinação final.

As tarefas de limpeza das obras estão ligadas ao momento da geração dos resíduos, à realização simultânea da coleta, triagem e à varrição dos ambientes. A limpeza preferencialmente é executada pelo próprio operário que gera o resíduo.

O acondicionamento inicial acontece o mais próximo possível dos locais de geração dos resíduos, dispendo-os de forma compatível com seu volume e preservando a boa organização dos espaços nos diversos setores da obra. Em alguns casos, os resíduos são coletados e levados diretamente para os locais de acondicionamento final.

O transporte interno utiliza os meios convencionais e disponíveis: transporte horizontal (carrinhos e transporte manual) ou transporte vertical (elevador de carga e condutor de entulho). As rotinas de coleta dos resíduos nos pavimentos são ajustadas à disponibilidade dos equipamentos para transporte vertical.

Na definição do tamanho, quantidade, localização e do tipo de dispositivo a ser utilizado para o acondicionamento final dos resíduos, deve-se considerar este conjunto de fatores:

- Volume e características físicas dos resíduos, facilitação para a coleta, controle da utilização dos dispositivos (especialmente quando dispostos fora do canteiro), segurança para os usuários;

- Preservação da qualidade dos resíduos nas condições necessárias para a destinação.

No decorrer da execução das obras, as soluções para o acondicionamento final poderão variar; entretanto, para o êxito da gestão dos resíduos, basta respeitar o conjunto de fatores mencionado.

As recomendações para acondicionamento, transporte interno e destinação final de cada tipo de resíduo analisados no presente estudo podem ser observados no Cap II Quadro 1:

Cap II Quadro 1 – Gestão dos resíduos nos canteiros de obras.

Tipo de Resíduos	Acondicionamento Inicial	Transporte Interno	Acondicionamento Final
Plásticos (sacaria de embalagens, aparas de tubulações etc.)	Bombonas sinalizadas e revestidas internamente por saco de ráfia	Transporte dos resíduos contidos em sacos, bags ou em fardos como auxílio de elevador de carga ou grua, quando necessário	Bags sinalizados
Blocos de concreto, blocos cerâmicos, blocos estruturais argamassas, outros componentes cerâmicos concreto, tijolos e assemelhados	Pilhas formadas próximas aos locais de geração, nos respectivos pavimentos	Carrinhos para deslocamento horizontal e condutor de entulho, elevador de carga ou grua para transporte vertical	Caçambas estacionárias
Madeira	Bombonas sinalizadas e revestidas internamente por saco de ráfia (pequenas peças) ou em pilhas formadas nas proximidades da própria bombona e dos dispositivos para transporte vertical (grandes quantidades)	Grandes volumes: transporte manual (em fardos) com auxílio de carrinhos associados a elevador de carga ou grua. Pequenos volumes: deslocamento horizontal manual (dentro dos sacos de ráfia) e vertical com auxílio de elevador de carga ou grua, quando necessário	Baías sinalizadas, ou caçambas estacionárias
Papelo (sacos e caixas de embalagens dos insumos utilizados durante a obra) e papéis (escritório)	Bombonas sinalizadas e revestidas internamente por saco de ráfia, para pequenos volumes. Como alternativa para grandes volumes: bags ou fardos	Transporte dos resíduos contidos em sacos, bags ou em fardos como auxílio de elevador de carga ou grua, quando necessário	Bags sinalizados ou em fardos, mantidos em local coberto.
Metal (ferro, aço, fiação revestida, arame etc.)	Bombonas sinalizadas e revestidas internamente por saco de ráfia ou em fardo	Grandes volumes: transporte manual (em fardos) com auxílio de carrinhos associados a elevador de carga ou grua. Pequenos volumes: deslocamento horizontal manual (dentro dos sacos de ráfia) e vertical com auxílio de elevador de carga ou grua, quando necessário	Baías sinalizadas
Gesso de revestimento, placas acartonadas e artefatos	Pilhas formadas próximas aos locais de geração dos resíduos, nos respectivos pavimentos	Carrinhos para deslocamento horizontal e elevador de carga ou grua para transporte vertical	Caçambas estacionárias, separados dos resíduos de alvenaria e concreto
Solos	Pilhas e para imediata remoção (carregamento dos caminhões ou caçambas estacionárias logo após a remoção dos resíduos de seu local de origem)	Equipamentos disponíveis para escavação e transporte (pá- carregadeira, “bobcat” etc.). Para pequenos volumes, carrinhos e giricas.	Caçambas estacionárias, separados dos resíduos de alvenaria e concreto
Telas de fachada e de proteção	Recolher após o uso e dispor em local adequado	-	Local de fácil acesso e solicitar imediatamente a retirada ao destinatário

EPS (Poliestireno expandido) – exemplo: isopor	Pequenos pedaços, colocar em sacos de rafia. Em placas, formar fardos	Transporte dos resíduos contidos em sacos, bags ou em fardos como auxílio de elevador de carga ou grua, quando necessário	Baia para acúmulo dos sacos contendo o resíduo ou fardo
Resíduos perigosos presentes em embalagens plásticas e de metal, instrumentos de aplicação como broxas, pincéis, trinchas e outros materiais auxiliares como panos, trapos, estopas, etc	Manuseio com os cuidados observados pelo fabricante do insumo na ficha de segurança da embalagem ou do elemento contaminante do instrumento de trabalho. Imediato transporte pelo usuário para o local de acondicionamento final	Carrinhos para deslocamento horizontal	Baias devidamente sinalizadas e para uso restrito das pessoas que manuseiam esses produtos
Restos de uniforme, botas, panos e trapos sem contaminação por produtos químicos	Disposição nos bags para outros resíduos	Transporte dos resíduos contidos em sacos, bags ou em fardos como auxílio de elevador de carga ou grua, quando necessário	Bags para outros resíduos
Restos de alimentos, e suas embalagens, copos plásticos usados e papéis sujos (refeitório, sanitários e áreas de vivência)	Cestos para resíduos com sacos plásticos para a coleta convencional	Carrinhos para deslocamento horizontal	Caçambas estacionárias, separados dos resíduos de alvenaria e concreto

Fonte: Elaborado pela autora, 2022. Adaptado de Suporte Ambiental (2015).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os empreendimentos objeto de análise estão localizados em Montes Claros e Belo Horizonte, Minas Gerais. O município de Montes Claros possui uma população estimada de 413.487 pessoas, com IDH de 0,770 e PIB per capita de R\$ 23.426,26. Já o município de Belo Horizonte possui uma população estimada de 2.315.560 pessoas, com IDH de 0,805 e PIB per capita de R\$ 38.670,40 (IBGE, 2020).

Foram analisadas duas obras de edificação habitacional com distintos sistemas construtivos, uma no sistema de alvenaria convencional e outra no sistema de pré-moldado. A edificação em alvenaria estrutural, localizada em Montes Claros/MG, possui uma área de 20.571,00 m<sup>2</sup> de construção. Composta por 21 blocos, cinco pavimentos com quatro apartamentos cada. Logo, o número de apartamentos a serem construídos será de 420 unidades. Na área do pavimento térreo, serão implantadas as vagas para estacionamento de veículos, embarque e desembarque de carga e descarga. Este pavimento também contempla espaço para o lazer dos moradores (SUPORTE AMBIENTAL, 2015).

Com relação ao sistema construtivo de pré-moldados, localizado em Belo Horizonte/MG, possui 10.660,93 m<sup>2</sup> de área construída. O empreendimento é composto por duas torres (Bloco A e Bloco B), totalizando 160 unidades habitacionais e 160 vagas de estacionamento, sendo uma vaga por unidade. O Bloco A conta com 12 pavimentos, e o Bloco B com um total de 11 pavimentos (AMBIÊNCIA SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2019).

O correto manejo dos resíduos no interior do canteiro permite a identificação de materiais reutilizáveis, gerando economia tanto por dispensar a compra de novos materiais quanto por evitar sua identificação como resíduo e gerar custo de remoção.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do RCC das duas obras foi realizada por meio do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), assim como através dos registros contidos no Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) das duas obras. Além disso, foram verificados o manejo da coleta, o volume transportado e a destinação final dos resíduos.

A seguir são descritos os principais materiais utilizados nas duas obras estudadas e com ajuda do Cap II Quadro 2 identificou -se os tipos de resíduos gerados.

Cap II Quadro 2 – Tipologia dos resíduos gerados em cada fase da obra

Fase da Obra	Tipo de Resíduo Alvenaria Estrutural	Tipo de Resíduo Pré - Moldado
Terraplanagem	Solos, rochas, vegetação, galhos	Solos, rochas, vegetação, galhos
Fundações	Solos, rochas.	Solos
Instalação do canteiro de obras	Blocos estrutural, concreto, madeiras.	Concreto, Cerâmico, Papel, Plástico, madeira, sacos de cimento
Estrutura	Concreto, madeiras, metal, formas plásticas	Metal, madeira, sacos de cimento, contaminados com óleo
Instalação predial	Blocos estruturais, argamassa, papel, plástico.	Concreto, Cerâmico, Papel, Plástico, metal,
Revestimentos	Pisos e azulejos cerâmicos, papel, papelão, plástico	Gesso e contaminados
Acabamentos	Placas de gesso acartonado, Tintas, seladores, vernizes, textura	Contaminados, gesso, papel, plástico, concreto, cerâmico

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Nas obras, os colaboradores são orientados a seguir o princípio dos 3Rs (Reduzir, Reutilizar e Reciclar). Quando não é mais possível reaproveitar os resíduos durante as atividades, eles são armazenados na frente de operação (segregados). No final do dia ou após a conclusão do serviço, esses resíduos são encaminhados para os locais de armazenamento final, que foram construídos e identificados conforme as definições da Resolução Conama nº 275.

Durante a construção dos empreendimentos, o registro das coletas e o armazenamento da documentação dos fornecedores são realizados por meio de um software denominado NetResíduos, desenvolvido exclusivamente para o gerenciamento de resíduos. Esse software é integrado ao Sistema de Controle de Manifestos de Transporte de Resíduos - MTR-MG. O documento, também chamado de MTR, é emitido online pelo sistema estadual e disponibilizado no sistema NetResíduos. A utilização desse

sistema para emissão dos MTRs em todas as coletas realizadas nas obras garantiu o atendimento às exigências legais nos âmbitos estadual (Resolução COPAM nº 232/19) e federal (Portaria Ibama nº 280/20).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 10.004/2004, classifica os resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, indicando quais devem ter manuseio e destinação mais rigorosamente controlados. De forma sucinta, tem-se:

- Resíduos Classe I: perigosos;
- Resíduos Classe II: não perigosos;
- Resíduos Classe II A: não inertes;
- Resíduos Classe II B: inertes.

Existem quatro classes de resíduos da construção civil determinadas pelas Resoluções Conama 307/2002 e 348/2004, conforme descrito no Cap II Quadro 3.

### Cap II Quadro 3 – Classificação dos resíduos e sua destinação

Identificação	Integrantes	Destinação
Reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	Areia, bloco de concreto celular, bloco de concreto comum, concreto armado, concreto endurecido, material de escavação aproveitável, cerâmica, louça, pedras em geral, argamassa endurecida, restos de alimentos, solo orgânico ou vegetação, telha, bloco ou tijolo cerâmico.	Reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a áreas de aterros de resíduos da construção civil, onde deverão ser dispostos de modo a permitir sua posterior reciclagem ou a futura utilização, para outros fins, da área aterrada.
Recicláveis para outras destinações.	Aço de construção, alumínio, arame, asfalto a quente, cabo de aço, fio ou cabo de cobre, madeira compensada, madeira, perfis metálicos ou metalon, carpete, PVC, plástico contaminado com argamassa, plástico (conduítes), pregos, resíduos cerâmicos, vidros, saco de papelão contaminado com cimento ou argamassa, madeira serrada, mangote de vibrador, sobra de demolição de blocos de concreto com argamassa.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação.	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação.	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação.
Resíduos perigosos, 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.	Resíduos perigosos, 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.	Resíduos perigosos, 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.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os resíduos gerados levam em conta os métodos construtivos adotados nas etapas de uma obra. Portanto, os métodos construtivos possuem uma estimativa de geração de resíduos de aproximadamente  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2$  construídos. Considerando que o sistema de alvenaria possui  $20.571,00 \text{ m}^2$  de área construída, segundo a estimativa de geração de resíduos apresentada, deverão ser gerados aproximadamente  $1.028,55 \text{ m}^3$  de resíduos, o que corresponde a 205 caçambas convencionais de  $5 \text{ m}^3$ .

Já o método construtivo de pré-moldado possui  $10.660,93 \text{ m}^2$  de área construída e, segundo a estimativa de geração de resíduos apresentada, deverão ser gerados aproximadamente  $533 \text{ m}^3$  de resíduos, correspondendo a 106 caçambas.

A quantificação do RCC fundamentou-se no estudo utilizado por Pedro et al. (2018), que considerou os históricos de coleta mensal de resíduos de Classe A da construção. Para os cálculos, foram utilizadas as seguintes equações: unidade de peso do RCC considerando a unidade do peso específico do RCC de classe A no estado solto (a) e o índice de geração de RCC (b).

**RRCC = VRCC \*  $\lambda$ XRCC**, onde (a):

**RRCC** = RCC gerado no período das etapas para Estudo de Caso (ton.)

**VRCC** = Volume RCC gerado no período das etapas para Estudo de Caso ( $\text{m}^3$ ).

**$\lambda$ RCC** = Peso específico do RCC no estado solto, adotado neste estudo  $1,28$  (ton./ $\text{m}^3$ )

**IgRCCA = RRCCA / AA**, onde (b):

**IgRCCA** = Índice de Geração de RCC no período das etapas para Estudo de Caso (ton. / $\text{m}^2$  construído).

**RRCCA** = RCC gerado no período das etapas para Estudo de Caso (ton.).

**AA** = Área Construída do Estudo de Caso ( $\text{m}^2$ )

Nota-se para as estas etapas da pesquisa o peso de resíduos em alvenaria convencional foi 264,96 toneladas considerando um volume de  $207,00 \text{ m}^3$ . Em relação ao resíduo do sistema construtivo pré-moldado o resultado do peso foi de 61,44 toneladas, analisando a geração de  $48 \text{ m}^3$ .

Já para verificação do índice de geração de resíduos ton. / $\text{m}^2$ , foi utilizado os seguintes cálculos:

**Alvenaria IgRCCA**= RRCCA / AA, onde (a):

$$= 264,96 \text{ ton} / 20.571,00 \text{ m}^2$$

$$= 0,0129 \text{ ton./m}^2$$

**Pré-moldado IgRCCA**= RRCCA / AA, onde (b):

$$= 61,44 \text{ ton} / 10.660,93 \text{ m}^2$$

$$= 0,0058 \text{ ton./m}^2$$

Um dos fatores a serem considerados para este resultado é que, para a execução da alvenaria estrutural, as tubulações elétricas e hidráulicas são instaladas após a alvenaria ser executada, o que leva à necessidade de se cortar as paredes para embutir a tubulação, o que pode gerar desperdício de materiais, mão de obra e maior quantidade de entulho.

Referente à destinação, os resíduos da construção de pré-moldados foram transportados para a área de transbordo e triagem (ATT), garantindo a posterior segregação e destinação adequada por tipo de resíduo, conforme estabelece a legislação. Em relação à alvenaria, a solução para a destinação final dos resíduos é o aterro industrial - classe II A.

Pode haver divergências entre os dados registrados nos MTRs e a planilha de registro e controle, principalmente relacionadas aos quantitativos dos resíduos, devido a pequenas falhas de preenchimento ou de conversão pelo peso específico adequado. A frequência da coleta dos resíduos é variável, a depender principalmente da etapa construtiva na qual a obra se encontra. Logo, a solicitação de retirada dos resíduos ocorre sob demanda, não devendo ultrapassar longos períodos após a saturação dos locais de armazenamento. Os caminhões de grande porte, após a coleta dos resíduos na obra, seguem para as áreas receptoras pelo trajeto mais apropriado, a depender do trânsito local.

Já os veículos utilitários possuem uma rota de coleta de materiais que depende da demanda de seus clientes. Após coletarem os materiais na rota de clientes estabelecida diariamente, seguem para as áreas receptoras.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do apresentado, pode-se perceber que no sistema construtivo em alvenaria estrutural, a geração de resíduos foi de 203,52 toneladas a mais que o sistema de pré-moldado. Entretanto, após a publicação da Resolução Conama 305/2022, que obriga os geradores a serem responsáveis pelo resíduo produzido, recomenda-se para os sistemas construtivos a aplicação de práticas que visam à diminuição dos resíduos dentro do próprio canteiro de obra, ou seja, reutilização ou reciclagem do material.

Se os resíduos fossem reutilizados de alguma forma, poderiam trazer muitos benefícios, principalmente em relação aos custos e ao meio ambiente. Existem inúmeras maneiras de reaproveitar os resíduos, desde procedimentos mais simples até métodos mais complexos que necessitam de infraestrutura, como fazer sua reutilização em forma de insumos ou na fabricação de novos materiais.

Estudos revelam que os resíduos gerados em obras possuem características físico-químicas que permitem a substituição destes como agregados e insumos de forma que a qualidade seja a mesma. Sendo assim, vale ressaltar que o reaproveitamento, reciclagem e a diminuição da produção de resíduos da construção só contribuem de forma positiva para a empresa, para o meio ambiente e para a sociedade.

## REFERÊNCIAS

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

AMBIÊNCIA SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS. **Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. Belo Horizonte - MG, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2021. Disponível em: <[www.abrelpe.com.br](http://www.abrelpe.com.br)>. Acesso em: 23 de jul. 2022.

BERR, L. R. e TORRES, C. Método para avaliação da qualidade de processos construtivos em empreendimentos habitacionais de interesse social. **Ambiente Construído [online]**, v. 12, p. 77-96, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212012000200006>>. Acesso em: 24 nov. de 2022.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 275**, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2001. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002). **Resolução CONAMA nº 307**, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002). **Resolução CONAMA nº 348**, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2004. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

CALDAS, L. R.; LIRA, J.S.M.M.; SPOSTO, R.M. Avaliação do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. **LALCA: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, p.138–167, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3823>. Acesso em: 12 jul. 2022.

FERNANDES, L. L. de A.; COSTA, D. B.; GUEDES, H. N.; SIMÕES, C. K. M.. Indicadores da qualidade para sustentabilidade de obras de edificações: banco de dados e valores de referência. In: **Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, 2019, Londrina. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em:<https://www.antaceventos.net.br/index.php/sibragec/sibragec2019/paper/view/439>. Acesso em: 13 ago. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Belo Horizonte. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html>. Acesso em: 12 ago.2023.

MEDEIROS, C.R e SILVA, J.A.F. Gestão dos resíduos da construção civil: estudo de caso no município de Macaé, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v.10, p.225–251,2016. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/7539>. Acesso em: 13ago.2023.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. (2019). **Deliberação Normativa Copam nº 232**, de 27 de fevereiro de 2019. Institui o Sistema Estadual de Manifesto de Transporte de Resíduos e estabelece procedimentos para o controle de movimentação e destinação de resíduos sólidos e rejeitos no estado de Minas Gerais e dá outras providências. Diário do Executivo. Minas Gerais: Imprensa Oficial.

PEDRO, Q. C.; ALBERTIN, M. R.; VIOTTO, H. G.; SANTOS, J. A.; JUNIOR, L.R.; SHOJI, M. Geração de resíduos na construção civil: comparativo entre edificação de bloco estrutural e convencional. **Journal Of Exact Sciences – Jesjes**, Paraná, p.05, 2018. Disponível em: [https://Www.Mastereditora.Com.Br/Periodico/20180929\\_103031.Pdf](https://Www.Mastereditora.Com.Br/Periodico/20180929_103031.Pdf). 12. Acesso em: 27 nov.2022.

ROSADO, L. P. e PENTEADO, C. S. G. Management of construction and demolition waste: influence of disposal fees. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020. Disponível em: <https://Doi.Org/10.1590/1809-4422asoc20200032r1vu202016ao>. Acesso em: 24 jul.2022.

SCREMIN, L.B. e CASTILHOS, A. B. R. **Sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte**. Engenharia sanitária e ambiental [online]. Santa Catarina, p. 203-206, jun. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522014000200011>. Acesso em: 23 jul.2022.

SUPORTE AMBIENTAL. **Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC**. Montes Claros – MG, 2015.

ZEULE, L. O. e SERRA, S. M. B. A sustentabilidade aplicada aos pré-moldados de concreto. **Revista Industrializar em Concreto**. São Paulo – SP, p.33-42, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/343626847\\_A\\_sustentabilidade\\_aplicada\\_aos\\_pre-moldados\\_de\\_concreto](https://www.researchgate.net/publication/343626847_A_sustentabilidade_aplicada_aos_pre-moldados_de_concreto). Acesso em: 24 jul.2022.

**CAPÍTULO III – ESTUDO LABORATORIAL USANDO AGREGADO RECICLADO  
DE RESÍDUO SÓLIDO DE CLASSE A EM BLOCO POROSO PARA TRAFÉGO DE  
PEDESTRES**

## RESUMO

A crescente quantidade de resíduos sólidos da construção civil gerada em cidades de médio e grande portes tem sido fonte de preocupação em todo o mundo em função de questões ambientais, econômicas e até sociais. Desta forma, a reciclagem dos resíduos de construção para a produção de agregados torna-se uma alternativa interessante, principalmente em função de normas e pesquisas já existentes que podem garantir sua aplicação. Neste capítulo é apresentado a produção de 24 corpos-de-prova cilíndricos (6 cm por 10 cm), curados imersos em solução de água com cal, com idade de 28 dias; utilizando-se 95% de agregados graúdos natural (brita 0) e reciclado (concreto); e 5% agregado reciclado miúdo (cerâmica). Além disso, os agregados reciclados graúdos utilizados foram classificados como resíduo de concreto passante na peneira 9,50 mm e retido na 4,75 mm e para o agregado miúdo foi o resíduo de cerâmica passante na peneira 2,36 mm e retido na 1,18 mm. Os materiais utilizados como agregados reciclados na pesquisa foram os resíduos oriundos da obra de construção do residencial multifamiliar Ville Honduras, localizado no município de Belo Horizonte – MG. Em relação aos traços adotados, definiu-se 1:3 (cimento/agregado em massa), água/cimento estabelecida, de acordo com NBR 6118 (ABNT, 2023) foi de 0,40. Ademais, nos resultados obtidos de permeabilidade e resistência mecânica, pode-se observar que as amostras estudadas atendem aos requisitos mínimos para considerá-los um piso drenante.

**Palavras-chave:** Agregado reciclado. Pavimento Permeável. Construção Civil.

## ABSTRACT

The growing amount of solid construction waste generated in medium and large cities has been a source of concern around the world due to environmental, economic and even social issues. In this way, recycling construction waste for the production of aggregates becomes an interesting alternative, mainly due to existing standards and research that can guarantee its application. This chapter presents the production of 24 cylindrical specimens (6 cm by 10 cm), cured immersed in a water solution with lime, aged 28 days; using 95% natural (gravel 0) and recycled (concrete) coarse aggregates; and 5% fine recycled aggregate (ceramic). Furthermore, the coarse recycled aggregates used were classified as concrete residue passing through a 9.50

mm sieve and retained in 4.75 mm and for the fine aggregate it was ceramic residue passing through a 2.36 mm sieve and retained in 1.18mm. The materials used as recycled aggregates in the research were waste from the construction work of the multi-family residential Ville Honduras, located in the city of Belo Horizonte – MG. In relation to the traits adopted, 1:3 (cement/mass aggregate) was defined, water/cement established, in accordance with NBR 6118 (ABNT, 2023) was 0.40. Furthermore, in the results obtained for permeability and mechanical resistance, it can be seen that the samples studied meet the minimum requirements to consider them a draining floor.

**Keywords:** Recycled aggregate. Permeable Pavement. Construction.

## 1 INTRODUÇÃO

Diante da necessidade de destinação de subprodutos da construção e demolição, na bibliografia há relatos de que na época da edificação das cidades do Império Romano já se utilizava tijolos, telhas e louça cerâmica moída como pozolanas. Apenas a partir de 1928 começaram a ser desenvolvidas pesquisas de forma sistemática visando avaliar o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito da granulometria dos agregados oriundos de resíduos de alvenaria e concreto. Entretanto, alguns países têm especificações próprias no controle de produção e aplicação de agregados reciclados em pavimentação (RICCI, 2007).

De acordo com Leite (2007), a aplicação de resíduos da construção civil em pavimentos não é um conceito recente, pois teve início na Europa após a 2ª Guerra Mundial, devido à necessidade de recuperar as estradas afetadas pelo reaproveitamento dos RCC.

Relativamente seis décadas após a utilização de RCC na Europa, no Brasil, a gestão de resíduos sólidos da construção civil teve início em 1991, com a implantação pelo município de São Paulo da primeira usina de reciclagem de RCC, com a finalidade de produzir agregados reciclados para sub-base de pavimentos (MOTTA, 2005).

Em 2002, o CONAMA publica a Resolução 307 que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Além disso, a publicação dos requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil só ocorreu em 2004 quando a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR 15.116, que considerou sua destinação para obras de pavimentação viária em camadas de reforço de subleito, sub-base e base da pavimentação, ou revestimento primário de vias não pavimentadas.

De acordo com Motta (2005), o processo de reciclagem de agregados é composto basicamente por quatro operações: triagem, em que são removidas substâncias estranhas à fração mineral através de catação; britagem, que consiste na redução das dimensões dos grãos de modo a atender a determinada finalidade ou favorecer as operações subsequentes; peneiramento, em que através de peneiras é feita a produção de agregados com classificações granulométricas específicas; e operações auxiliares, que dão assistência ao processo de reciclagem através de, por exemplo, moinho de bolas para reduzir os resíduos em partículas menores.

O pavimento permeável contendo agregado reciclado é um material composto por ligante hidráulico, material britado de graduação uniforme, água e pouca ou nenhuma

quantidade de agregado miúdo. Pode-se adicionar o uso de uma combinação de diferentes tipos de adições e aditivos que possuem a finalidade de atribuir ao concreto melhor desempenho, durabilidade, resistência e trabalhabilidade (NASCIMENTO, 2016).

A fase laboratorial deste trabalho teve como objetivo principal determinar os parâmetros de mistura que são básicos na definição das propriedades dos pisos, com o intuito de fornecer subsídios para o avanço do conhecimento sobre a utilização dos agregados reciclados de concreto e cerâmica na produção de pisos permeáveis.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fase laboratorial deste estudo foi dividida em quatro etapas, consistindo em: caracterização dos materiais (agregados graúdo e miúdo); determinação da dosagem do concreto; moldagem dos corpos de prova e realização dos ensaios físico-mecânicos.

Para o delineamento experimental, foram estudados dois tipos de resíduos de Classe A da construção civil, cujo método construtivo é o de pré-moldados: resíduos provenientes de estruturas à base de cimento e oriundos da fase de acabamento, cuja natureza é cerâmica.

### 2.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados como agregados reciclados na pesquisa foram provenientes da obra de construção do residencial multifamiliar Ville Honduras, localizado na Rua Maria Aleixa de Abreu, 109, Bairro Goiânia, Belo Horizonte - MG. A parte experimental desta pesquisa, iniciando-se com a caracterização dos materiais e finalizando com a produção dos pisos porosos, foi desenvolvida no laboratório de ensaios de materiais do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) - campus Santa Luzia.

Os agregados reciclados foram coletados aleatoriamente em 08 de novembro de 2022, juntamente com a equipe de qualidade da Precon Engenharia, realizando a segregação e coleta seletiva no canteiro de obras para separar os resíduos indesejáveis. Pretendeu-se, com isso, estimular a conscientização ambiental, bem como desenvolver procedimentos internos que viabilizassem o progresso desta pesquisa. Posteriormente, foi aplicada a etapa de triagem, na qual os agregados (cimento e cerâmica) foram separados e acondicionados em recipientes independentes. O volume de resíduo em estado solto, estipulado com base no volume de tambores, foi de aproximadamente 256 litros.

O material foi colocado em um caminhão e transportado até o laboratório de Tecnologia de Materiais do IFMG - *campus* Santa Luzia (Cap III Figura 1).

Cap III Figura 1 – (a) Agregados reciclados de concreto e (b) agregado reciclado de cerâmica



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Segundo Nascimento (2016), para a produção dos pisos porosos, o cimento tipo CP V-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial) é o mais indicado, por apresentar maior resistência quando comparado com os outros tipos de cimento (CP II e CPIII). O cimento CP V ARI, nas idades iniciais, pode alcançar o dobro da resistência do cimento CP II. Por esses motivos, neste experimento, foi escolhido o cimento CP V ARI da marca Cauê para a confecção do produto.

O agregado natural empregado foi a brita 0 (9 mm a 4,75 de diâmetro), com base no estudo de Ferreira e Silva (2019) que obtiveram os melhores resultados de coeficiente de permeabilidade e resistência com este agregado natural. Conhecido como basalto de origem ígnea, largamente encontrado no Brasil, sendo muito usado na elaboração do concreto permeável, pois os pedriscos permitem a formação de vazios.

## 2.2 Definição da distribuição granulométrica

As análises granulométricas foram realizadas exclusivamente por peneiramento. Para a condução dos ensaios, uma amostra foi sempre selecionada aleatoriamente, acondicionada em um saco plástico, com aproximadamente 52 kg de resíduos de concreto e 49 kg de cerâmica. O material foi previamente seco em estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

O ensaio de granulometria dos resíduos foi determinado por peneiramento à seco, com a utilização de um conjunto de peneiras de malha quadrada, acopladas a um agitador mecânico (Cap III Figura 2), nas seguintes séries: 75mm; 37,5mm; 19mm; 9,5mm; 4,75mm, 2,6mm; 1,18mm; 0,6mm; 3mm e 0,15mm.

Cap III Figura 2 – Agitador mecânico de peneira.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

### 2.3 Determinação do traço padrão

Como não existe uma metodologia conceitual para a dosagem do piso permeável, foi realizado um levantamento dos traços através das literaturas existentes sobre o tema. Com base nos resultados satisfatórios de vários trabalhos a respeito da produção de concreto permeável, a relação dos traços adotados foi 1:3 (cimento/agregado em massa). A relação água/cimento estabelecida, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), foi de 0,40, correspondendo à classe de agressividade e qualidade do concreto

As amostras foram feitas em betoneira com capacidade de 120 litros (Cap III Figura 3) com procedimento de dosagem mostrado na Cap III Tabela 1. As amostras foram curadas ao ar por 24 horas e, após a desmoldagem, os corpos de prova foram curados imersos em solução de água com cal, de acordo com as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2016), até a idade de 28 dias, conforme a NBR 5738 (ABNT, 1994).

Para cada traço foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos com espessura mínima 60 mm, para o ensaio de Resistência à Compressão, conforme a NBR 16416 (ABNT, 2015).

Cap III Figura 3 - Betoneira - MB-120 litros



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

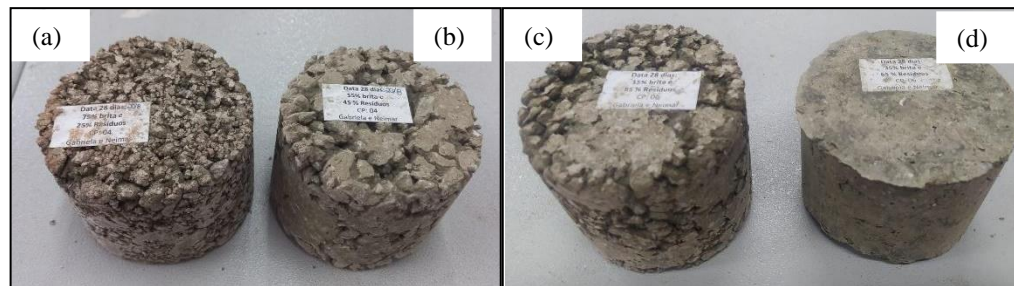
Cap III Tabela 1 – Relação dos traços adotados para a confecção das amostras.

Amostras	Traço	CONSUMO DE MATERIAL		
		Agregado Natural (AGN) - brita 0	Agregado Reciclado Graúdo (AGRG) - concreto	Agregado Reciclado Miúdo (AGRM) - cerâmica
AM 1	1:3	75%	20%	5%
AM 2	1:3	55%	40%	5%
AM 3	1:3	35%	60%	5%
AM 4	1:3	15%	80%	5%

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Após a moldagem, as 24 amostras permaneceram por 24 horas dentro do galpão do Laboratório de Estruturas do IFMG - Campus Santa Luzia. Em seguida, foram colocadas para cura úmida em um tanque contendo água e cal. De acordo com Nascimento (2016), a cura úmida apresenta melhor resistência à compressão para os corpos de prova de concreto quando curados em imersão, em solução saturada com cal.

Cap III Figura 4 – Imagem de um exemplar de cada conjunto de amostra, sendo: (a) Amostra 1; (b) Amostra 2; (c) Amostra 3; (d) Amostra 4.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

É válido ressaltar que o traço empregado foi o mesmo em todas as misturas, exceto na mistura piloto, mantendo-se constante o diâmetro dos agregados graúdos (9,5 a 4,75 mm) e miúdos (2,36 a 1,18 mm), bem como a relação água/cimento, mudando apenas os consumos dos materiais utilizados.

## 2.4 Execução dos ensaios

Foram realizados três ensaios, conforme preconizado pela NBR 16416/2015 (Tabela 2), com idade de 28 dias, em revestimento de peças permeáveis, utilizadas para tráfego de pedestres, com espessuras de 60,0 mm e diâmetro de 100,00 mm.

Cap III Tabela 2 – Ensaios de caracterização dos agregados reciclados.

Propriedade	Metodologia	Nº De Amostras	Referência
Resistência mecânica	NBR 9781:2013	6	> 20 MPa
Coefficiente de Permeabilidade	NBR 13292:2015	3	> 0.0010 m/s

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

### 2.4.1 Ensaio de resistência à compressão simples

Os ensaios mecânicos especificados na Capítulo III, Tabela 3, foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais da DVG Precon Industrial em Pedro Leopoldo, Minas Gerais. Foi realizado o ensaio de resistência mecânica de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013). A Cap III Figura 5 ilustra o ensaio realizado na prensa hidráulica elétrica digital 100t da marca Contenco.

Cap III Figura 5 – Corpo-de-prova no ensaio de resistência à compressão simples.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O ensaio para determinação da resistência à compressão simples (RCS) tem por objetivo determinar a máxima tensão a que pode ser submetido o corpo de prova, no sentido axial, até que o mesmo seja rompido pela compressão. A resistência à compressão da peça, expressa em megapascals (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em quilograma-força (Kgf), pela área de carregamento, expressa em centímetros quadrados (cm<sup>2</sup>), multiplicando-se o resultado pelo fator  $p$ , função da altura da peça

Cap III Tabela 3 – Fator multiplicativo  $p$ .

Espessura nominal da peça (mm)	$P$
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: ABNT (2013).

#### 2.4.2 Ensaio de permeabilidade

Segundo a ABNT NBR 16416 (2015), o coeficiente de permeabilidade pode ser previamente avaliado em laboratório ou em campo. Nesta pesquisa, o método de avaliação foi em laboratório, tomando como base o ensaio descrito na ABNT NBR 13292. Para o ensaio, foi utilizado um permeâmetro de carga constante (Cap III Figura 6), que foi preenchido parcialmente (7,5cm) com 90% de agregado graúdo e 5% agregado miúdo e no segundo ensaio foi preenchido com 100% de agregado graúdo e 0% agregado miúdo.

Após a instalação, o circuito foi aberto, permitindo a passagem de água através do corpo de prova e da areia, saturando-a e garantindo a retirada do ar. Em seguida, o circuito foi fechado por meio de uma válvula, mantendo o nível entre a superfície da amostra e o dreno do permeâmetro. Aplicou-se uma coluna d'água manométrica até uma determinada altura, mantida constante, e a válvula foi novamente aberta, registrando o tempo para o preenchimento de uma proveta de 250 ml. O procedimento foi repetido três vezes para cada corpo de prova, considerando-se o tempo médio. O coeficiente de permeabilidade é determinado de acordo com a Lei de Darcy descrita a seguir pela Equação (Cap III Equação 1).

$$k = \frac{Q \cdot L}{h \cdot A \cdot t}$$

Cap III Equação 1

Onde:

k = Coeficiente de permeabilidade (cm/s);

Q = Volume d'água observado na proveta no tempo t (cm<sup>3</sup>);

h = Altura da carga hidráulica, constante durante o ensaio (cm);

A = Área da secção do corpo de prova (cm<sup>2</sup>);

L = Altura do corpo de prova (cm);

t = Tempo decorrido para a água percolar no volume Q (s);

Cap III Figura 6 – Ensaio de permeabilidade



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Representatividade das frações graúda e miúda

A ideia inicial era utilizar 100% de resíduos de concreto e cerâmica, no entanto, visualmente, o material apresentou uma grande quantidade de grãos acima de 75 mm. Para a análise granulométrica, foi verificada a porcentagem retida nas peneiras para os resíduos de concreto e cerâmica.

Ao analisar as composições granulométricas dos agregados reciclados, notou-se que os resíduos de concreto e cerâmica apresentaram uma distribuição granulométrica similar, com uma grande concentração de partículas maiores que 4,75 mm (cerca de 93%). Na realidade, o procedimento de britagem para esses resíduos é essencial, uma vez que há uma grande concentração de partículas graúdas (< 9,5 mm).

As composições granulométricas dos agregados graúdos e miúdos encontram-se na Cap III Tabela 4.

Cap III Tabela 4 – Distribuição das frações granulométricas para cada um dos agregados reciclados.

Abertura de malha	Concreto (kg)	Cerâmica (kg)	Retidos acumulados (%)	
			Concreto	Cerâmica
< 75 mm	31,578	33,356	80,1%	83,0%
37,5 mm	3,672	2,562	9,3%	6,4%
19 mm	0,84312	0,672	2,1%	1,7%
9,5 mm	0,89701	0,502	2,3%	1,2%
4,75 mm	0,93378	0,088	2,4%	0,2%
2,36 mm	0,38572	0,492	1,0%	1,2%
1,18 mm	0,32895	0,438	0,8%	1,1%
600 µm	0,33	0,792	0,8%	2,0%
300 µm	0,18651	0,438	0,5%	1,1%
150 µm	0,10755	0,334	0,3%	0,8%
151 µm>	0,16358	0,5	0,4%	1,2%

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Portanto, foi necessário submeter o material ao processo de cominuição para os agregados reciclados, devido ao excesso de material retido na peneira de 75 mm. Em virtude disso, foi necessário o uso de britagem primária e moagem.

O britador é um dos equipamentos mais adequados em usinas de reciclagem para a produção de agregados reciclados destinados à pavimentação, devido à redução das dimensões do material. Geralmente, é utilizado como britador primário, pois gera uma maior quantidade de grãos graúdos, muitas vezes exigindo a necessidade subsequente de moagem. Em relação ao moinho de martelo, por sua vez, é um equipamento utilizado para a produção de finos (MOTTA, 2005).

A Cap III Figura 7 ilustra os lançamentos dos resíduos de concreto no britador do tipo mandíbula e de cerâmica no moinho da mineradora Anex Mineração em Itabirito (MG).

Cap III Figura 7 - Vista do britador (a) e do moinho (b).



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Após a britagem dos resíduos, os agregados foram separados em duas granulometrias distintas (graúda  $> 9,5$  mm e miúda  $< 1,18$  mm). Segundo a norma NBR 7211 (2019), define-se agregado graúdo como aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Em relação aos agregados miúdos, são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu$ m (NBR 7211, 2019). Em alguns casos, onde é necessário obter resistências maiores, utiliza-se uma porção mínima de agregado miúdo, tendo em vista que a presença desses finos diminui consideravelmente a permeabilidade. Isso ocorre porque os finos ficam depositados nos espaços

anteriormente tidos como livres (poros), dificultando assim o fluxo da água no interior da estrutura (LAMB, 2014).

Portanto, os agregados reciclados graúdos e miúdos utilizados foram classificados como resíduo de concreto (passante na peneira 9,50 mm e retido na 4,75 mm) e resíduo de cerâmica (passante na peneira 2,36 mm e retido na 1,18 mm), respectivamente.

Cap III Figura 8 - Resíduo de concreto retido nas peneiras: 37,5 mm (a); 19,0 mm (b); 9,5 mm (c); 4,75 mm (d); 2,36 mm (e) 1,18 mm (f); 0,6 mm (g); 0,30 mm (h); 0,15 mm (i); 0,15 mm > (j).



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Cap III Figura 9 - Resíduo de cerâmica retido nas peneiras: 37,5 mm (A); 19,0 mm (B); 9,5 mm (C); 4,75 mm (D); 2,36 mm (E) 1,18 mm (F); 0,6 mm (G); 0,30 mm (H); 0,15 mm (I); 0,15 mm > (J).



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.2 Resistência à compressão simples

Foram analisados os ensaios de resistência mecânica aos 28 dias para os diferentes percentuais de substituição do agregado natural pelo reciclado (Amostras 1, 2, 3 e 4). Os valores obtidos nos ensaios são apresentados (Cap III Tabela 5).

Cap III Tabela 5 – Fator multiplicativo p.

	<b>Mpa AM 1</b>	<b>Mpa AM 2</b>	<b>Mpa AM 3</b>	<b>Mpa AM 4</b>
AM1 - CP	13,51369428	21,37018982	20,51728021	11,69755436
AM 2 – CP	12,65485345	18,32391463	25,84944803	21,23495797
AM 3 - CP	19,75096644	16,53624458	29,85895353	10,14238817
AM 4 - CP	14,08309151	15,82449804	17,32509699	9,447249054
AM 5 - CP	15,41880251	28,81268612	13,31084651	18,9158505
AM 6 - CP	14,87194392	22,71301829	17,89093549	8,619250581
<b>Média</b>	<b>15,05</b>	<b>20,60</b>	<b>20,79</b>	<b>13,34</b>

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O ganho de resistência ao longo do tempo pode ser analisado a partir da observação dos dados de resistência à compressão existentes (

Cap III Tabela 6), onde estão indicadas as médias dos resultados deste parâmetro para cada teor de substituição estudado. Na tabela, foi indicado o desvio padrão, parâmetro estatístico que permite uma melhor avaliação dos dados estudados. O desvio padrão indica o quanto os dados se afastaram da média.

Cap III Tabela 6 – Desvio padrão.

<b>Grupo de Substituição</b>	<b>Quantidade de CP</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
AM 4	6	8,62	21,2	10,9	13,3	5,36
AM 3	6	13,3	29,9	19,2	20,8	6,07
AM 2	6	15,8	28,8	19,8	20,6	4,84
AM 1	6	12,7	19,8	14,5	15,0	2,50

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Além disso, foi feita uma análise conjunta desses resultados mediante os testes ANOVA (Cap III Tabela 7) e Tukey (Cap III Tabela 8). Esses testes foram utilizados para contrastar as médias de cada fator idealizado, considerando um nível de significância de 5%, possibilitando a identificação dos níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes, assim como os níveis associados ao menor e ao maior valor médio.

Cap III Tabela 7 – ANOVA test.

	<b>Grau de liberdade</b>	<b>Soma Quadrada</b>	<b>Média Quadrada</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>
Tipo Concreto	3	262,2	87,41	3,67	0,0296
Residual	20	476,4	23,82		

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Cap III Tabela 8 – Tukey test.

<b>Pares de comparação</b>	<b>Diferença</b>	<b>Limite Inferior</b>	<b>Limite Superior</b>	<b>Valor P</b>
AM 3 – AM 4	7,449	-0,437	15,336	0,068
AM 2 - AM 4	7,254	-0,633	15,14	0,078
AM 1- AM 4	1,706	-6,18	9,592	0,929
AM 2 - AM 3	-0,195	-8,082	7,691	1
AM 1 – AM 3	-5,743	-13,63	2,143	0,208
AM 1 - AM 2	-5,548	-13,434	2,339	0,233

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Como o valor de p é menor que 0,05 no teste ANOVA, isso indica que existem diferenças significativas entre as amostras. No entanto, ao comparar os pares no teste de Tukey, em que o valor de p é maior que 0,05, significa que os resultados são estatisticamente iguais.

Entretanto, para o teor de 75% AG + 25% AGR, (amostra AM1) os valores diferem significativamente do teor de 35% AGN + 65% AGR (amostra AM3), ou seja, são menores a ponto de representar um decréscimo significativo na resistência à compressão dos blocos.

Neste sentido, empregou-se um teste paramétrico, Wilcoxon Test (Cap III Tabela 9), para avaliar a validade estatística dos resultados alcançados pela principal métrica de desempenho aqui adotada, em função dos conjuntos de dados não normalmente distribuídos.

Cap III Tabela 9 – Wilcoxon Test

<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>#n1</b>	<b>#n2</b>	<b>Valor p</b>
AM 4	AM 1	6	6	0,094
AM 2	AM 1	6	6	0,062
AM 1	AM 1	6	6	0,563
AM 2	AM 3	6	6	1
AM 1	AM 3	6	6	0,062
AM 1	AM 2	6	6	0,094

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A análise dos dados obtidos, após a realização dos ensaios de resistência à compressão, sob o ponto de vista estatístico, pode ser observada na Tabela 9. A partir dessa avaliação, foi constatado que os valores encontrados para os teores de substituição da Amostra 1, Amostra 2, Amostra 3 e Amostra 4 não são diferentes dos resultados encontrados ( $p \geq 0,05$ ). Isto significa que a substituição de agregado natural por agregado reciclado, nestes teores, resistiu à mesma quantidade de tensão até a ruptura.

Pode-se destacar que os resultados dos grupos AM 2 e AM 3 possuíram resultados estatisticamente iguais, em função do p\_valor muito alto, indicando uma semelhança entre eles.

No entanto, comparando os resultados com o estudo de Buttler (2007), a ausência de controle de água adicionada na mistura contribuiu para esses resultados inferiores. Qualquer variação na umidade da mistura pode interferir expressivamente na massa dos corpos de prova e, conseqüentemente, na sua resistência.

De acordo com Oliveira (2017), confirmou em sua pesquisa que a resistência pode sofrer influência em função do aumento do índice de vazios, ou seja, quanto mais poros existirem na estrutura do concreto permeável, a resistência à compressão diminui. Apesar de sofrerem variações diferentes, todas as misturas obtiveram o mesmo comportamento. Além disso, o autor notou uma influência nos resultados em relação ao peso específico da amostra e ao tempo de compactação empregado durante a moldagem.

Segundo Mikami et al. (2017), para que a resistência do concreto atinja acima de 20 MPa, seria necessário a modificação do traço, isto é, maiores quantidades de cimento na mistura proporcionariam um aumento na espessura da pasta de cimento que recobre o agregado.

Pederneiras et al. (2020) também verificaram que o uso do agregado reciclado não afeta a resistência à compressão do concreto. A partir dos resultados obtidos na pesquisa, os autores evidenciaram que a diminuição da resistência mecânica com agregado reciclado pode ser atribuída à relação água/cimento, maior absorção de água e à menor densidade dos agregados reciclados.

Os resultados dos ensaios evidenciam uma tendência de redução na resistência mecânica à medida que aumenta muito na proporção de agregado natural ou agregado reciclado, sendo que o melhor desempenho foi obtido quando adicionado dosagens de AGN e AGR com frações de substituição semelhantes.

Dessa forma, o grupo de substituição com 35% AGN e 65% AGR pode ser empregado na fabricação de pisos permeáveis destinados ao tráfego de pedestres, pois possui resistência maior que 20 MPa.

### 3.3 Permeabilidade

Nesta análise foi considerada a variação dos teores de agregados graúdo (AG) e miúdo (AM), portanto, a Cap III Tabela 4 apresenta os valores medidos para o tempo de percolação da água através do corpo de prova (CP).

Cap III Tabela 10 – Tempos de percolação da água através do corpo de prova.

Teor de Agregados	Dimensão do CP (cm)	Altura da carga hidráulica (cm)	Média do Tempo (s)	Coef. de Permeabilid. K (m/s)
CP 1	15,00 x 15,00	11,00	17,00	0,0011
CP 2	15,00 x 15,00	12,00	14,00	0,0013

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que as amostras estudadas atendem aos requisitos mínimos para considerar um pavimento como permeável, de acordo com a ABNT NBR 16416 (2015), que estabelece um coeficiente de permeabilidade acima de 0,0010 m/s. Isso é evidenciado pelo fato de que, em ambas as amostras, a água precipitada percolou com eficiência em um curto período de tempo, como mostrado na tabela acima, e tiveram comportamentos semelhantes.

De acordo com Oliveira (2017), nos ensaios de permeabilidade de carga constante, recomenda-se um coeficiente de permeabilidade acima de 0,00001 m/s para obter a capacidade de infiltração. No entanto, foi observado que os resultados obtidos nos ensaios de carga constante apresentaram menor variação e menor coeficiente de permeabilidade quando comparados com os ensaios de carga variável.

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que o uso de agregados reciclados mistos em substituição aos agregados naturais altera significativamente as propriedades do concreto permeável. O teor de materiais também tem influência nas características do material, podendo ser um fator limitante.

A utilização de agregados naturais e reciclados com proporções de substituição uniforme proporcionou permeabilidade e resistência acima do valor mínimo estipulado pela NBR 16416/2015.

Pode-se notar ainda que as três misturas utilizadas nesta pesquisa apresentaram resultados consideravelmente variáveis para o parâmetro de resistência mecânica, com valores distintos uns dos outros. Sendo assim, pode-se entender que essa variação está relacionada à absorção de água. A partir dos resultados obtidos, ressalta-se a importância do controle efetivo da umidade dos blocos.

É importante a realização de estudo de campo visando calibrar o método de produção de corpos de prova cilíndricos com as condições reais de produção. Neste caso, é necessário realizar outras análises das propriedades físicas, principalmente em relação à massa específica, absorção de água e índice de vazios. O traço utilizado possui quantidade de cimento suficiente para que a resistência do concreto atinja 20 Mpa, conforme estabelecido pela NBR 9781:2013. Para o emprego do material em pavimentos de tráfego de veículos leves, seria necessária a reformulação da espessura nominal da peça de 60 mm para 80 mm, adequando a resistência ao valor mínimo de 20 MPa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em razão da discussão dos resultados e apresentação das conclusões parciais nos capítulos anteriores, neste item é feita uma análise geral de todos esses aspectos já comentados. Com relação aos resíduos de concreto e cerâmica, devem-se atentar às seguintes necessidades:

- O uso de resíduos de construção civil como agregados reciclados é um avanço para a sustentabilidade para este setor, visto que esse processo reduz a exploração de recursos naturais e propicia uma alternativa de destinação, que pode ser utilizado na produção de novos materiais de construção civil;
- Gestão adequada dos resíduos de concreto e cerâmica, evitando-se a mistura de diferentes tipos de resíduos, fato esse que, quando negligenciado, pode reduzir a possibilidade de reciclagem do material e seu uso futuro;
- Recomenda-se para os sistemas construtivos à aplicação de práticas que visam a diminuição dos resíduos dentro do próprio canteiro de obra, ou seja, reutilização ou reciclagem do material;
- Baseado no resultado de resistência à compressão foi possível verificar que o aumento da proporção das misturas provocou uma redução da resistência à compressão dos concretos, sendo que essa redução foi menor, quanto maior o teor de agregados secos;
- É necessário analisar outras propriedades físicas, principalmente com relação à absorção de água;
- Com base em tudo que foi mencionado a respeito do objetivo principal desta pesquisa, concluiu-se que o concreto permeável é uma alternativa para se alcançar uma produção sustentável. Pois atingiu a sua principal característica, a permeabilidade acima de 0,0010/s e resistência de 20 Mpa. Cabe ressaltar ainda que, adições agregadas reciclados miúdos, podem ser utilizadas, visando melhorar as propriedades mecânicas deste tipo de concreto, permitindo a ele um bom desempenho aliando resistência;
- Avaliação econômica detalhada do processo de reciclagem e produção de blocos com agregados reciclados considerando-se os custos do processo de reciclagem (custos de implantação, operação e manutenção) e do próprio custo de produção dos blocos com reciclados;

- Em função da heterogeneidade de natureza do agregado reciclado, alguns resultados obtidos nos experimentos de laboratório apresentaram dispersões. Para que estas variações diminuam, e o desempenho esperado seja alcançado, é preciso que seja dada atenção a todo o sistema de produção do agregado reciclado, de forma a torná-lo o mais homogêneo possível.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto armado - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13292**: Solo: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002). **Resolução CONAMA nº 307**, de 05 de julho 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.
- BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. Tese (Doutorado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Paulo, p. 535, 2007. Disponível em: doi:10.11606/T.18.2007.tde-16102007-111106. Acesso em: 23 set.2023.
- FERREIRA, D. C. S.; SILVA, L. P.. **Análise da viabilidade da produção de concreto permeável com o uso de material reciclado cerâmico**. 2019. Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia das Faculdades DOCTUM de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Minas Gerais, p.58, 2019. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/3278>. Acesso em: 07 out.2023.
- LAMB, G. S. **Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 152, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/114985>. Acesso em: 08 ago. 2023.

LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 185, 2007. Disponível em: doi:10.11606/D.3.2007.tde-09012008-162141. Acesso em: 08 ago. 2023.

MIKAMI, R. J.; KRUGER, P.; PEREIRA, E., KUMMER, A. C. B.; DÖLL, M. M. R. Influência do teor de cerâmica vermelha do reciclado nas propriedades do concreto permeável. **Revista Matéria**, v. 23, 2018. Disponível em: 10.1590/S1517-707620180003.049. Acesso em: 30 abr. 2022.

MOTTA, R.S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 134, 2005. Disponível em: doi:10.11606/D.3.2005.tde-19072006-114729. Acesso em: 08 ago. 2023.

NASCIMENTO, M. V. L.A. **Estudo de blocos intertravados de concreto para pavimentação de resíduo do polimento do porcelanato.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e ambiental. Pernambuco, p. 96, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17151>. Acesso em: 08 ago. 2023.

OLIVEIRA, L.C.B. **Análise da permeabilidade e da colmatação em concretos permeáveis produzidos com agregado reciclado de concreto.** Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas. São Paulo, p. 108, 2017. Disponível em: <https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/15115> . Acesso em: 08 de ago. 2023.

PEDERNEIRAS, C. M., DURANTE, M. D. P., AMORIM, Ê. F., FERREIRA, R. L. DA S. Incorporation of recycled aggregates from construction and demolition waste in paver blocks. **Rev. Ibracon Estrut [online]**, v.13, 2020. Disponível em: <://Doi.Org/10.1590/S1983-41952020000400005>. Acesso em: 29 abr.2023.

RICCI, G. **Estudo de características mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e de demolição para pavimentação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 196, 2007. Disponível em: doi:10.11606/D.3.2007.tde-09012008-162125. Acesso em: 08 ago. 2023.

## ANEXO A – TERMO DE PARCERIA



Belo Horizonte, 21 de dezembro de 2021

### CARTA DE INTENÇÃO DE PARCERIA

Pelo presente Termo de Parceria, a empresa ou órgão situado (a) no endereço Rua Albita, 131 - 1º Andar - Cruzeiro. Belo Horizonte, MG 30.310-160, CNPJ nº 19.223387/0001-73, declara colaborar na execução do Projeto do discente Gabriela Cristina de Assis Costa, matriculado no "Curso de Pós-graduação Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental", do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFMG), no *Campus* Bambuí, em Bambuí (MG).

Gestão de Resíduos de Construção Civil – Classe A

#### Suporte necessário da empresa/órgão na execução do projeto de pesquisa:

- 1- Acesso e divulgação das informações para elaboração da pesquisa;
- 2- Recursos de materiais e mão de obra local;

#### Contrapartida do discente para a empresa/órgão referente ao desenvolvimento do Projeto:

1. Melhorar o processo de acompanhamento / cobrança do gerenciamento de resíduos nas obras com o intuito de sanar as pendências atuais e reduzir a geração de pendências no dia a dia
2. Manter o processo de melhoria de planejamento de início de obra para evitar destinações de resíduos sem registro e geração do MIR
3. Elaborar estudo de possibilidades para redução da geração de resíduos nas obras
4. Identificar os principais motivos geradores de falha na segregação dos resíduos, para posterior discussão e definição de plano de ação para melhoria

*Gabriela Cristina de Assis Costa*

**GABRIELA CRISTINA DE ASSIS COSTA**

Eu, Marina Martins Azeredo, representante da (*empresa*) Precon Engenharia S/A, CNPJ 19.223387/0001-73 declaro haver interesse desta empresa em contribuir com o desenvolvimento do Projeto do discente Gabriela Cristina de Assis Costa. Sendo assim, fica firmado o compromisso da empresa nos seguintes pontos:

- 1- Acesso e divulgação das informações para elaboração da pesquisa;
- 2- Recursos de materiais e mão de obra local;

*Marina Azeredo*

**MARINA MARTINS AZEREDO**  
Gerente

31 3014.3900  
Rua Albita, 131.1º andar - Cruzeiro  
Belo Horizonte . MG . 30.310-160

[www.meuprecon.com.br](http://www.meuprecon.com.br)  
[www.preconengenharia.com.br](http://www.preconengenharia.com.br)

## ANEXO B – APRESENTAÇÃO DE TRABALHO NO VIII SEP



**PLANETA  
IFMG  
2023**

**CERTIFICADO**

Certificamos que o trabalho intitulado *“Diagnóstico da situação de resíduos sólidos da construção civil: Avaliação de habitações de alvenaria estrutural e painéis de pré-moldados”*, de autoria de **Gabriela Cristina de Assis Costa**, foi apresentado na forma de infográfico no VIII Seminário dos Estudantes de Pós-Graduação (SEP), ocorrido durante o Planeta IFMG 2023, no período de 22 a 24 de agosto de 2023, em ambiente virtual, promovido pela Pró-Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais.

 **INSTITUTO FEDERAL**  
Minas Gerais

 Documento assinado digitalmente  
**TIAGO SIMÃO FERREIRA**  
Data: 04/09/2023 15:23:22 -0300  
Verifique em: <https://sistema.ifmg.gov.br>

## **APÊNDICE – PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA (PTT)**

O conteúdo deste apêndice refere-se à Produção Técnica e Tecnológica (PTT) elaborada como requisito obrigatório para a conclusão do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG, Campus Bambuí.

O produto técnico, elaborado conforme o GT de Produção Técnica delegado pela CAPES (Brasil, 2019), consiste em uma atividade relacionada à divulgação da produção (artigo publicado em revista técnica) que abordará os aspectos físicos e de comportamento mecânico de agregados reciclados de resíduo sólido de Classe A da construção civil para a transformação em piso permeável, em substituição aos materiais convencionalmente utilizados, com foco em áreas de lazer para tráfego de pedestres. No artigo, que será submetido a uma revista técnica na seção da construção civil, serão apresentados os resultados dos ensaios de comportamento mecânico e de permeabilidade realizados com o agregado reciclado in natura.

O artigo será publicado na REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil (Apêndice C), escolhida devido à sua alta aplicabilidade, abrangência e facilidade de replicação, e tem como foco as linhas de pesquisa em estruturas, materiais e componentes de construção, sistemas de produção, saneamento e recursos hídricos e sustentabilidade.

## **FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA**

2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

### **INFORMAÇÕES E CONTATOS**

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - [www.bambui.ifmg.edu.br](http://www.bambui.ifmg.edu.br)

**REITOR DO IFMG** - Kléber Gonçalves Glória

**PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO**

Fernando Gomes Braga

**DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ** - Rafael Bastos Teixeira

**COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ** - Gustavo Augusto Lacorte

### **AUTORES**

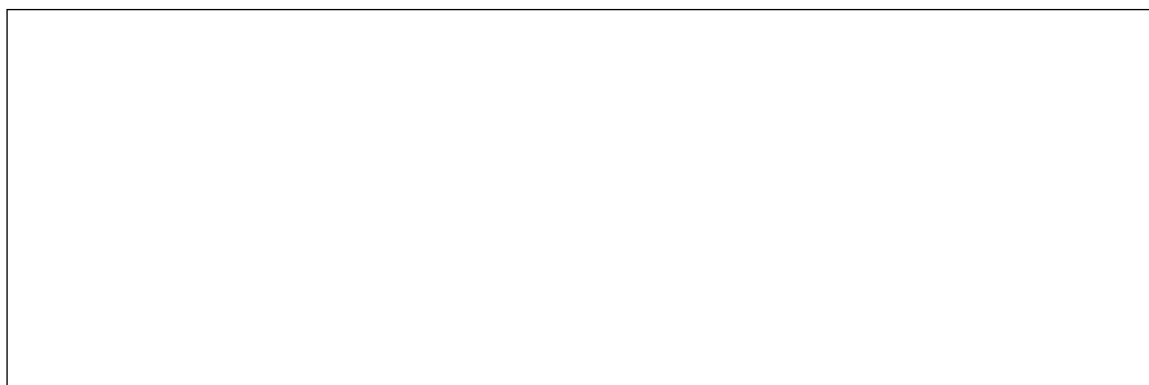
Gabriela Cristina de Assis Costa (aluna)

Neimar de Freitas Duarte (orientador)

Harley Sander Silva Torres (coorientador)

### **IMAGENS**

**Catálogo - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí**



Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

## UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE PISOS ECOLÓGICOS DRENANTES

### USE OF CONSTRUCTION WASTE IN THE PRODUCTION OF DRAINING ECOLOGICAL FLOORS

Gabriela C.de Assis Costa <sup>1</sup>, Neimar de Freitas Duarte <sup>2</sup>, Harlley Sander Silva Torres <sup>3</sup>

#### **PALAVRAS CHAVE:**

Piso ecológico 1;  
Resíduos Sólidos 2;  
Agregados Reciclados 3;  
Sustentabilidade 4;  
Pavimento Permeável 5;

#### **KEYWORDS:**

*Ecological floor 1;*  
*Solid Waste 2;*  
*Recycled Aggregates 3;*  
*Sustainability 4;*  
*Permeable Pavement 5.*

**RESUMO:** Os resíduos de construção e demolição (RCD) é um problema que vem se agravando com o passar do tempo em função do desenvolvimento das cidades que geram um excesso desse material. Apesar do descarte correto, o acúmulo desse material pode ocasionar diversos impactos ambientais negativos. Desta forma, a utilização dos resíduos da construção civil (RCC) na forma de agregados graúdos e miúdos torna-se uma alternativa interessante, por tratar de uma alternativa sustentável (do ponto de vista econômico, social e ambiental). Neste estudo foi realizada a produção de pisos de concreto permeáveis conforme os padrões mínimos exigidos pela norma técnica NBR 16416/2015. Portanto, foi avaliado o comportamento da resistência mecânica e de permeabilidade do piso drenante, que envolveu análise dos agregados reciclados in natura e natural (brita 0) que foram avaliados quanto à resistência à compressão aos 28 dias. Como não existe normatização para uso de dosagens específicas do concreto permeável, para determinar o traço a ser utilizado no experimento, consideraram-se algumas literaturas que apontaram a variação 1:3 (relação de cimento/agregado em massa). Estabeleceu-se o fator água/cimento no valor de 0,40 como ponto de partida durante a moldagem dos corpos de prova. O aglomerante hidráulico utilizado foi o CP-V ARI, por possuir como principal característica alta resistência inicial e secagem rápida. A utilização de agregados naturais e reciclados com proporções de substituição uniforme proporcionou permeabilidades e resistência acima do valor mínimo estipulado pela NBR 16416/2015.

**ABSTRACT:** Construction and demolition waste (RCD) is a problem that has been getting worse over time due to the development of cities that generate a large amount of this material. Despite correct disposal, the accumulation of this material can cause several negative environmental impacts. In this way, the use of construction waste (RCC) in the form of coarse and fine aggregates becomes an interesting alternative, as it is a sustainable alternative (from an economic, social and environmental point of view). In this study, permeable concrete floors were produced in accordance with the minimum standards required by technical standard NBR 16416/2015.

Therefore, the behavior of the mechanical resistance and permeability of the drainage floor was evaluated, which involved analysis of fresh and natural recycled aggregates (gravel 0) that were evaluated for compressive strength after 28 days. As there is no standardization for the use of specific dosages of permeable concrete, to determine the mixture to be used in the experiment, some literature was considered that indicated the 1:3 variations (cement/aggregate mass ratio). The water/cement factor was established at 0.40 as a starting point during the molding of the specimens. The hydraulic binder used was CP-V ARI, as its main characteristics are high initial resistance and fast drying. The use of natural and recycled aggregates with uniform replacement proportions provided permeability and resistance above the minimum value stipulated by NBR 16416/2015.

**\* Contato com os autores:**

<sup>1</sup> e-mail: [gca.meioambiente@gmail.com](mailto:gca.meioambiente@gmail.com) ( G. Costa )

Engenharia Ambiental e Sanitária pela UNA, Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, IFMG – Campus Bambuí/MG, Analista de Licenciamento Ambiental, [gca.meioambiente@gmail.com](mailto:gca.meioambiente@gmail.com) (31 – 99603.7300)

<sup>2</sup> e-mail: [neimar@ifmg.edu.br](mailto:neimar@ifmg.edu.br) ( N. Duarte )

Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Doutor em Biologia Vegetal, Professor efetivo do IFMG atuando nos cursos de Arquitetura, Engenharia civil, Técnico em Paisagismo e Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais, [neimar@ifmg.edu.br](mailto:neimar@ifmg.edu.br) (31 – 3268.5600)

<sup>3</sup> e-mail: [harley.torres@ifmg.edu.br](mailto:harley.torres@ifmg.edu.br) ( H. Torres )

Arquitetura e Urbanismo, Doutor em Engenharia de Materiais, Professor efetivo do IFMG e Coordenador do curso de Arquitetura e Urbanismo, Instituto Federal de Minas Gerais, [harley.torres@ifmg.edu.br](mailto:harley.torres@ifmg.edu.br) (31 – 3268.5600)

ISSN: 2179-0612

2023 REEC - Todos os direitos reservados.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil apresentou um crescimento nos últimos 10 anos, especialmente pelo incentivo de programas habitacionais do governo, como o programa “Casa Verde e Amarela”. E com a demanda por eficiência nos processos produtivos surge, então, sistemas construtivos que objetivam uma indústria da construção civil com a racionalização de recursos naturais, minimizando e mitigando os impactos ambientais, como, por exemplo, menor consumo de água, de energia, de matérias-primas e redução na geração de resíduos sólidos (CALDAS et al., 2017).

Para a preservação do meio ambiente, é necessário a disposição adequada de resíduos, surgindo a obrigação de se desenvolver mecanismos para promover soluções sustentáveis, bem como a implantação de tecnologias capazes de mitigar os impactos decorrentes da disposição dos resíduos. Portanto, é necessário estudo científico sobre o uso de Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC), buscando materiais inovadores, produtos e processos mais limpos (FRANCISCO, 2019).

No Brasil, a composição do RCC é formada na maioria por gesso, concreto, cerâmico, madeira, papelão, plástico, metal e produtos perigosos. Para evitar ou minimizar o impacto que estes resíduos ocasionam no meio ambiente, constituíram-se legislativos e normativos no intuito de regular e fiscalizar a geração e destinação do RCC. Portanto, o arcabouço legal que versa sobre a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, contemplam, Leis Federais, Estaduais e Municipais; Decretos, Resoluções e Políticas públicas, tais como:

- ✓ Lei Federal 9.605/1998 Crimes Ambientais;
- ✓ Lei Federal nº. 12.305/2010 Política nacional de resíduos Sólidos;
- ✓ PBPQ-H - Programa Brasileiro da Produtividade e Qualidade do Habitat;
- ✓ Resolução CONAMA nº. 307 – Gestão dos Resíduos da Construção Civil de 5 de julho de 2002 (Alterada pelas Resoluções nº. 348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015);
- ✓ NBR 15.112/2004 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- ✓ NBR 15.113/2004 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- ✓ NBR 15.114/2004 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.

Como forma de dar atenção à questão dos resíduos da construção, a Resolução do CONAMA núm. 307/2002, define que deverão ser divididos e classificados em quatro categorias:

- ✓ Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de reservação de material para usos futuros;
- ✓ Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (NR);
- ✓ Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação;
- ✓ 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.

Porém, como uma das soluções intermediárias, pode-se recorrer à reutilização e reciclagem. Neste contexto, no Brasil, a prática da reciclagem de RCC ainda é pouco difundida, de 5.564 municípios brasileiros, somente em 79 municípios (1,42%) possuem o programa de reutilização dos agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos. Somente uma parte do RCC desses municípios é destinada às usinas de reciclagem, concluindo-se que a grande maioria dos RCC no Brasil não é reciclada (BRASILEIRO E MATOS,2015).

Segundo o panorama da situação dos resíduos sólidos no Brasil, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, em 2021, foram gerados cerca de 47 milhões de toneladas de RCD, que corresponde 221,2 kg por habitante/ano. A região Sudeste representa 52% de participação no total coletado do país, registrando aproximadamente 24,5 milhões de toneladas coletadas em um ano.

Neste contexto, faz-se necessária uma correta gestão dos RCC, que proporcione benefícios para as empresas, para a população e para o meio ambiente. Dessa forma, alguns materiais podem ser reutilizados ou reciclados, por exemplo, confecção de blocos com o uso de material reciclado para pavimentação em vias urbanas (FRANCISCO, 2019).

De acordo com Motta (2005), desde 1996 na cidade de Belo Horizonte (MG) utiliza-se resíduo da construção civil nas vias pavimentadas, caracterizada por um baixo volume de tráfego. As camadas de reforço do subleito e sub-base do pavimento foram construídas com agregados reciclados.

Com base nesse contexto, o presente trabalho teve como intuito reutilizar os resíduos sólidos de Classe A (agregados de cerâmica e concreto) da construção civil de pré-moldados, para produção de pisos permeáveis para áreas externas, aplicando as normas brasileiras vigentes, visando atingir as propriedades necessárias para a fabricação do produto.

## 2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA DA PESQUISA

A geração de resíduos na construção civil pode ocorrer nas diferentes fases do ciclo de vida dos empreendimentos, tais como, construção, manutenção, reformas e demolição. No caso em tela, está na fase de construção, principalmente nas perdas dos processos construtivos, e que, conseqüentemente, parte se converte em resíduos, destacando a necessidade de alcançar a redução da geração desses resíduos.

Conforme o artigo 8º da Lei n.º 18.031, de 12 de janeiro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos no Estado de Minas Gerais, deve ser estimulada a gestão de resíduos sólidos no território do Estado, para incentivar, fomentar e valorizar a não-geração, a redução, a reutilização, o reaproveitamento, a reciclagem, a geração de energia, o tratamento e a disposição final adequada dos resíduos sólidos. E para alcançar os objetivos propostos pela legislação, cabe ao poder público, fomentar a ampliação de mercado para materiais reutilizáveis, reaproveitáveis e recicláveis (MINAS GERAIS; 2009).

Devido a esta realidade e em busca por uma gestão sustentável no setor da construção civil de pré-moldados, pretende-se desenvolver um piso ecológico permeável de baixo custo que atenda as especificações das normas técnicas existentes, utilizando um material que, em geral, é descartado de forma indevida na natureza. Além disso, proporcionando uma melhora da drenagem urbana, através do desenvolvimento de um produto que tem a preocupação com a sustentabilidade das cidades e diminuir a quantidade de resíduos em aterro.

Partindo do conceito de sustentabilidade e de sua ocorrência para a construção civil, a proposta de reutilizar os resíduos sólidos de classe A, pode se mostrar promissora, visando uma tecnologia alternativa e uma produção mais sustentável, com menor uso de recursos naturais. Dessa forma, com análise dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela agenda 2030, a pesquisa de dissertação apresenta conexão direta com dois ODS, a saber:

- ✓ 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis;
- ✓ 12 - Consumo e Produção Responsáveis.

Para a construção civil de pré-moldados se manter de maneira sustentável é essencial a preocupação com a destinação dos resíduos, assim, nota-se uma relação direta com a meta 11.6, que “até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros”. Desse modo, já que as metas são parte importante para o cumprimento dos ODS, torna-se necessário, para que os objetivos sejam alcançados, minimizar o volume e a quantidade de resíduos de classe A (concretos/cerâmicos) gerados nos canteiros de obras, bem como reduzir os custos com o transporte, tratamento ou disposição final.

O presente trabalho se justifica pela necessidade de diversificar a matriz econômica de modo sustentável e limpo, através da transformação dos resíduos sólidos de classe A em subproduto, cujo objetivo é alcançar a economia, a minimização dos impactos para meio ambiente e sociedade, bem como a contribuição para o setor da construção civil.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. GERAL**

O presente trabalho possui como principal objetivo analisar os aspectos físicos e de comportamento mecânico de agregados reciclados de resíduo sólido de classe A (concreto e cerâmica) para confecção de pisos ecológicos permeáveis, em substituição dos agregados naturais. Procurou-se comparar os resultados dos ensaios conforme a norma NBR 16416/2015 - Pavimentos permeáveis de concreto.

#### **3.2. ESPECÍFICOS**

Com vistas à sustentabilidade do setor construtivo, a condução dos seguintes objetivos específicos deverá ser seguida:

- (i) realizar o levantamento das formas de armazenamento e descarte dos resíduos sólidos de Classe A com vistas a identificação dos destinos ambientais por meio de uma revisão sistemática da literatura;
- (ii) caracterização física dos resíduos gerados entre duas obras de sistemas construtivos distintos, sendo uma executada em alvenaria estrutural e outra em pré-moldado;
- (iii) avaliar o comportamento da resistência mecânica e de permeabilidade do piso ecológico drenante, composto por resíduos de classe A (concreto e cerâmica) da construção civil de pré-moldados, conforme os padrões mínimos exigidos pela norma técnica NBR 16416:2015.

### **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Com a demanda por construções mais produtivas, surgiram novos sistemas construtivos que objetivam uma indústria da construção civil com maior racionalização e industrialização, reduzindo o consumo de materiais e conseqüentemente a geração de resíduos. Desse modo, as empresas perceberam a importância da reciclagem de materiais, auxiliando no planejamento ambiental das cidades e contribuindo para o equilíbrio do meio ambiente (CALDAS et al., 2017).

Em 2021 o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil cresceu 9,7%, sendo um dos setores de grande importância no desenvolvimento do país. Portanto, é fundamental que seja proposto o descarte ambientalmente correto para os resíduos sólidos e demais componentes construtivos. Inicia-se, portanto, a partir da aprovação da Resolução 307 de 05 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a regulamentação da gestão adequada dos resíduos sólidos da construção civil, bem como o desenvolvimento econômico e social, aliado a manutenção da qualidade ambiental (CAMILO et al., 2022).

As cidades brasileiras nos últimos anos vêm apresentando um intenso processo de urbanização. Estima-se, que entre 40% e 75% dos recursos naturais existentes são consumidos por esse setor, causando, assim, a geração de 25% de resíduos sólidos provenientes da construção civil. Neste contexto deve ser impulsionado, quando possível, o seu uso ou reciclagem ao invés do descarte em aterros, ou locais inadequados (CAMILO et al., 2022).

A geração dos resíduos da construção civil em cidades de grande e médio porte corresponde a, aproximadamente, 41 a 71% da massa dos resíduos sólidos urbanos, o que significa que a quantidade de RCD gerada no Brasil gira em torno de 400 a 500 kg/hab./ano. Porém, a geração de resíduos de várias classes que muitas vezes são descartados de maneira irregular, em aterros destinados a outras categorias. Pode-se afirmar que, aproximadamente 80% dos resíduos pertencem a “Classe A”, caracterizados como sendo resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, podem ser reaproveitados no canteiro de obras (SILVA e CASTRO, 2019).

Como forma de compreender o comportamento da permeabilidade e da resistência em blocos de concreto porosos produzidos com resíduos de Classe A da construção Civil, a presente revisão busca analisar as contribuições científicas da última década das principais utilizações do agregado reciclado no concreto permeável.

#### 4.1.AS PRINCIPAIS UTILIZAÇÕES DO AGREGADO RECICLADO NO CONCRETO PERMEÁVEL

Segundo F. Lopez-Gayarre *et al.* (2013) utilizaram agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para fabricação de meios-fios e blocos para piso provenientes de resíduos de alvenaria. O concreto foi compactado no molde de aço e, após alguns minutos, os meios-fios e os blocos de piso foram extraídos e enviados diretamente para a área de cura, onde permanecem por 28 dias antes do uso. Foram fabricados seis blocos de piso contendo resíduos de concreto e seis contendo resíduos de alvenaria. As amostras para a resistência à flexão, absorção e resistência à carga foram testadas conforme EN 1340 e EN 15037-2. Eles observaram que os meios-fios fabricados com agregados reciclados de resíduos de alvenaria apresentam maior resistência à flexão do que os meios-fios fabricados com os agregados reciclados de resíduos de concreto. Os resultados mostraram que é possível fazer meio-fio com o percentual de reposição 70% de agregado reciclado.

Já Juan-Vald et al. (2018) estudaram o reaproveitamento dos agregados reciclados compostos por uma mistura heterogênea de agregados naturais, concreto e resíduos cerâmicos (variando de 30% a 70%) para a produção de meio-fio e blocos de pavimentação. Eles relataram que os elementos pré-moldados reciclados apresentaram uma resistência à compressão com característica de 29,70 MPa. Quanto à resistência à flexão, a média das amostras foi de 4,71 MPa. Portanto, os elementos pré-moldados devem ser considerados Classe 1 ( $2,8 \text{ MPa} < X < 5,0 \text{ MPa}$ ), conforme a norma da Espanha EN 1340, o que os qualifica para uso em áreas com tráfego ligeiro.

Tavares *et al.* (2016) avaliaram a eficiência do concreto permeável com o uso de agregados reciclados de concreto por meio de ensaio de permeabilidade, consistência e resistência mecânica. Para o estudo eles utilizaram uma mistura com 50% de agregado natural e 50% de agregado reciclado provenientes de resíduos do processo produtivo de pré-fabricados de concreto. Além disso, em três traços contendo concreto com agregado reciclado foram

adicionadas fibras de vidro. Os resultados apontaram para a resistência à compressão valores de aproximadamente de 20 MPa, conforme previsto na norma NBR 9781:2013. Também os resultados apresentaram um bom coeficiente de permeabilidade, isto é, superiores a  $10^{-4}$  m/s em todas as amostras ensaiadas, a exceção de uma que, em função do elevado consumo de cimento, diminui sua permeabilidade e não pode ser classificado como permeável.

Conforme destacado por Pederneiras et al. (2018) sugeriram analisar o desempenho dos blocos de concreto em três condições diferentes do agregado reciclado, tais como: seco, lavado e saturado. A resistência à compressão foi avaliada no tempo de cura de 7, 14, 28 e 365 dias com seis blocos para cada amostra. Os testes indicaram para as amostras com areia reciclada seca, agregado gráudo natural, agregado reciclado lavado uma taxa de absorção de água aos 28 dias, menor a 5%, assim atingindo os requisitos da ABNT NBR 9781/2013. Em relação à resistência mecânica, com 28 e 365 dias de cura, apresentaram um ótimo desempenho para o concreto produzido com areia reciclada lavada e agregado gráudo natural. Portanto, os autores concluíram que os blocos produzidos com agregados reciclados lavados apresentaram resultados satisfatórios em todas as propriedades, e que podem ser utilizados para estradas de baixa carga, como calçadas, jardins e ruas.

Já Mikami et al. (2018) avalia a influência do teor de cerâmica vermelha no agregado reciclado em seis composições de agregados, utilizadas na confecção dos pisos, e verificaram o efeito da permeabilidade e resistência do material, conforme a ABNT NBR 15116/2004. Para a elaboração das composições utilizaram-se resíduos de cerâmica vermelha e de concreto. Após 28 dias de cura, concluíram que todas as amostras de pisos apresentaram um coeficiente de permeabilidade superior a 0,10 mm. S-1, os valores obtidos foram cerca de 8 a 9 vezes superiores ao valor mínimo, sendo suficientes para drenar as águas pluviais pelo pavimento.

Quanto à resistência à compressão, o melhor valor foi obtido pelos 100% de resíduo de concreto, resultando em 10,15 MPa. Entretanto, as demais amostras contendo material cerâmico a resistência foi inferior a 3,00 MPa. Deste modo, os autores indicam que o material produzido com resíduo de concreto deve ser usado para o tráfego leve, pedestres e estacionamentos. Além disso, eles acreditam que o concreto permeável é um material que atende simultaneamente aos requisitos mínimos de permeabilidade. Os resultados da caracterização dos seis pisos permeáveis estão expostos na TABELA 1.

TABELA 1 – Resultados dos ensaios.

Amostras	Coefficiente de Permeabilidade	Resistência Compressão (MPa)	Índice de Volume de Vazios (%)	Absorção de Água (%)	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Agregado Natural	0,958	8,84	36,47	0 4,02	2,94	0 1,67
100% resíduo de concreto	0,932	10,15	32,13	5,29	2,86	1,67
10% cerâmica + 90% resíduos concreto	0,879	2,95 b	36,72 a	8,47	2,59	1,34
25% resíduos cerâmica + 75% resíduos concreto	0,828	3,20	37,21	10,59	2,60	1,28
50% resíduos cerâmica + 50% resíduos concreto	0,832	2,66 c	37,35	14,89	2,61	1,18
100% resíduo de cerâmica	5	5	6	6	6	6

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2022), adaptado de Mikami *et al*(2018)

Por último, Junior et al. (2021) analisaram a permeabilidade do concreto à base de resíduos de construção e demolição, minimizando os custos de produção e maximizando o desempenho ambiental dentro dos parâmetros técnicos e respeitando as recomendações da norma brasileira ABNT NBR 16416/2015, que regulamenta o uso de pavimentos de concreto permeável no Brasil. Os autores relataram que ao utilizar o agregado reciclado, que o pavimento tende a apresentar um concreto mais poroso e permeável. Portanto, os testes de densidade apontaram uma média de 1678,9 kg/m<sup>3</sup>. Segundo a ABNT NBR 16416/2015, o valor obtido deve ser igual ao especificado no projeto, 1600 kg/m<sup>3</sup>, com tolerância de 80 kg/m<sup>3</sup>.

Paula Junior et al. (2021) concluíram que o material à base de resíduos de construção e demolição pode ser utilizado como revestimento de piso para tráfego de pedestres, com espessura mínima de 6 cm, bem como para tráfego de veículos leves. Além disso, eles relataram que os valores encontrados nas amostras atendem a faixa de 10–13 MPa para resistência à compressão projetada, e que o material é indicado ser utilizado em áreas de estacionamentos.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

A fase laboratorial deste estudo foi dividida em quatro etapas, constando de: caracterização dos materiais (agregados graúdo e miúdo); determinação da dosagem do concreto; moldagem dos corpos de prova e realização dos ensaios físico-mecânico.

Para delineamento experimental foram estudados dois tipos de resíduos de Classe A da construção civil, cujo método construtivo é o de pré-moldados: resíduos provenientes de estruturas à base de cimento e resíduos oriundos da fase de acabamento, cuja natureza é a cerâmica.

Os materiais utilizados como agregados reciclados na pesquisa foram os resíduos oriundos da obra de construção do residencial multifamiliar Ville Honduras, localizado na Rua Maria Aleixa de Abreu, 109, Bairro Goiânia, Belo Horizonte - MG. Os agregados reciclados foram coletados aleatoriamente no dia 08 de novembro de 2022, junto a equipe de qualidade da Precon Engenharia, separando os resíduos indesejáveis através da segregação e coleta seletiva no canteiro de obra. Pretendeu-se, com isso, estimular a conscientização ambiental, bem como desenvolver procedimentos internos que viabilizassem o desenvolvimento desta pesquisa. Posteriormente foi aplicada a etapa de triagem, onde separou e acondicionou os agregados (cimento e cerâmica) em recipientes independentes. O volume de resíduo em estado solto, estipulado em função do volume de tambores, foi de aproximadamente 256 litros. O material foi colocado em um caminhão e transportado até o laboratório de Tecnologia de Materiais do IFMG - *campus* Santa Luzia.

Os agregados reciclados graúdos e miúdos utilizados foram classificados como resíduo de concreto (passante na peneira 9,50 mm e retido na 4,75 mm) e resíduo de cerâmica (passante na peneira 2,36 mm e retido na 1,18 mm), respectivamente.

Como não existe uma metodologia conceitual para a dosagem do piso permeável, foi realizado um levantamento dos traços através das literaturas existentes sobre o tema. Com base nos resultados satisfatórios de vários trabalhos a respeito de produção de concreto permeável, a relação dos traços adotados foi 1:3 (cimento/agregado em massa). A relação água/cimento estabelecida, de acordo com NBR 6118 (ABNT, 2023) foi de 0,40. As produções das amostras foram feitas em betoneira com capacidade de 120 litros com procedimento de dosagem mostrado na Tabela 2. As amostras foram curadas ao ar por 24 horas, e após a desmoldagem, os corpos de prova foram curados imersos em solução de água com cal, segundo as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2016).

TABELA 2 – Relação dos traços adotados para a confecção dos pisos.

Misturas	Traço	CONSUMO DE MATERIAL		
		Agregado Natural (brita 0) %	Agregado Reciclado Graúdo (concreto) %	Agregado Reciclado Miúdo (cerâmico) %
M1	1:3	75	20	5
M2	1:3	55	40	5
M3	1:3	35	60	5
M4	1:3	15	80	5

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2022).

Foram realizados três ensaios conforme preconizado pela NBR 16416/2015 (Tabela 3), com idade de 28 dias, conforme a NBR 5738 (ABNT, 1994). Para cada traço foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos (Figura 1), com espessura mínima 60 mm e diâmetro de 100mm (peças permeáveis, utilizados para tráfego de pedestre) para o ensaio de Resistência à Compressão, conforme a NBR 16416 (ABNT, 2015).

TABELA 3 – Ensaios de caracterização dos agregados reciclados.

Propriedade	Metodologia	Nº De Amostras	Referência
Resistência mecânica	NBR 9781:2013	6	> 20 MPa
Inspeção Visual	NBR 9781:2013	6	---
Coefficiente de Permeabilidade	NBR 13292:2015	3	> 0.0010 m/s

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2022).



FIGURA 1 – Imagem de um exemplar de cada conjunto de amostra, sendo: (a) Amostra 1; (b) Amostra 2; (c) Amostra 3; (d) Amostra 4.

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2023).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. REPRESENTATIVIDADE DAS FRAÇÕES GRAÚDA E MIÚDA

Analisando as composições granulométricas dos agregados reciclados, notou-se que os resíduos de concreto e cerâmica, apresentaram uma distribuição granulométrica similar, observou-se uma grande concentração de partículas maiores que 4,75 mm (cerca de 93%). Na realidade, o procedimento de britagem para esses resíduos é essencial, uma vez que há grande concentração de partículas graúdas (< 9,5 mm).

As composições granulométricas dos agregados graúdos e miúdos encontram-se na Tabela 4.

Abertura de malha	TABELA 4 – Distribuição das frações granulométricas para cada um dos agregados reciclados			
	Retidos acumulados (%)		Retidos acumulados (%)	
	Concreto (kg)	Cerâmica (kg)	Concreto	Cerâmica
< 75 mm	31,578	33,356	80,1%	83,0%
37,5 mm	3,672	2,562	9,3%	6,4%
19 mm	0,84312	0,672	2,1%	1,7%
9,5 mm	0,89701	0,502	2,3%	1,2%
4,75 mm	0,93378	0,088	2,4%	0,2%
2,36 mm	0,38572	0,492	1,0%	1,2%
1,18 mm	0,32895	0,438	0,8%	1,1%
600 µm	0,33	0,792	0,8%	2,0%
300 µm	0,18651	0,438	0,5%	1,1%
150 µm	0,10755	0,334	0,3%	0,8%
151 µm>	0,16358	0,5	0,4%	1,2%

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2022).

Portanto, foi necessário submeter o material ao processo de cominuição para os agregados reciclados, devido ao excesso de material retido na peneira de 75 mm. Em virtude disso, foi preciso o uso de britagem primária e moagem.

O britador é um dos equipamentos mais adequados em usinas de reciclagem para a produção de agregados reciclados para uso em pavimentação, em função da redução das dimensões do material, geralmente utilizado como britador primário por gerar maior quantidade de grãos graúdos, havendo, em geral, a necessidade de moagem. Em relação ao moinho de martelo, por sua vez, é um equipamento para a produção de finos (MOTTA, 2005).

A Figura 2 ilustra os lançamentos dos resíduos de concreto no britador do tipo mandíbula e de cerâmica no moinho da mineradora Anex Mineração em Itabirito (MG).



FIGURA 2 - Vista do britador e do moinho da mineradora Anex.

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2023).

Após a britagem dos resíduos, os agregados foram separados em duas granulometrias distintas (graúda > 9,5 mm e miúda < 1,18 mm). Segundo a norma NBR 7211 (2019) define agregado como sendo graúdos cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Em relação aos agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu$ m (NBR 7211, 2019). Em alguns casos, onde se faz necessário a obtenção de resistências maiores, utiliza-se uma porção mínima de agregado miúdo, tendo em vista que a presença desses finos diminui consideravelmente a permeabilidade, visto que eles ficam depositados nos espaços antes tido como livres (poros), dificultando assim o fluxo da água no interior da estrutura (LAMB, 2014).

Portanto, os agregados reciclados graúdos e miúdos utilizados foram classificados como resíduo de concreto (passante na peneira 9,50 mm e retido na 4,75 mm) e resíduo de cerâmica (passante na peneira 2,36 mm e retido na 1,18 mm), respectivamente.



FIGURA 3 - Resíduo de concreto retido nas peneiras.

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2022).

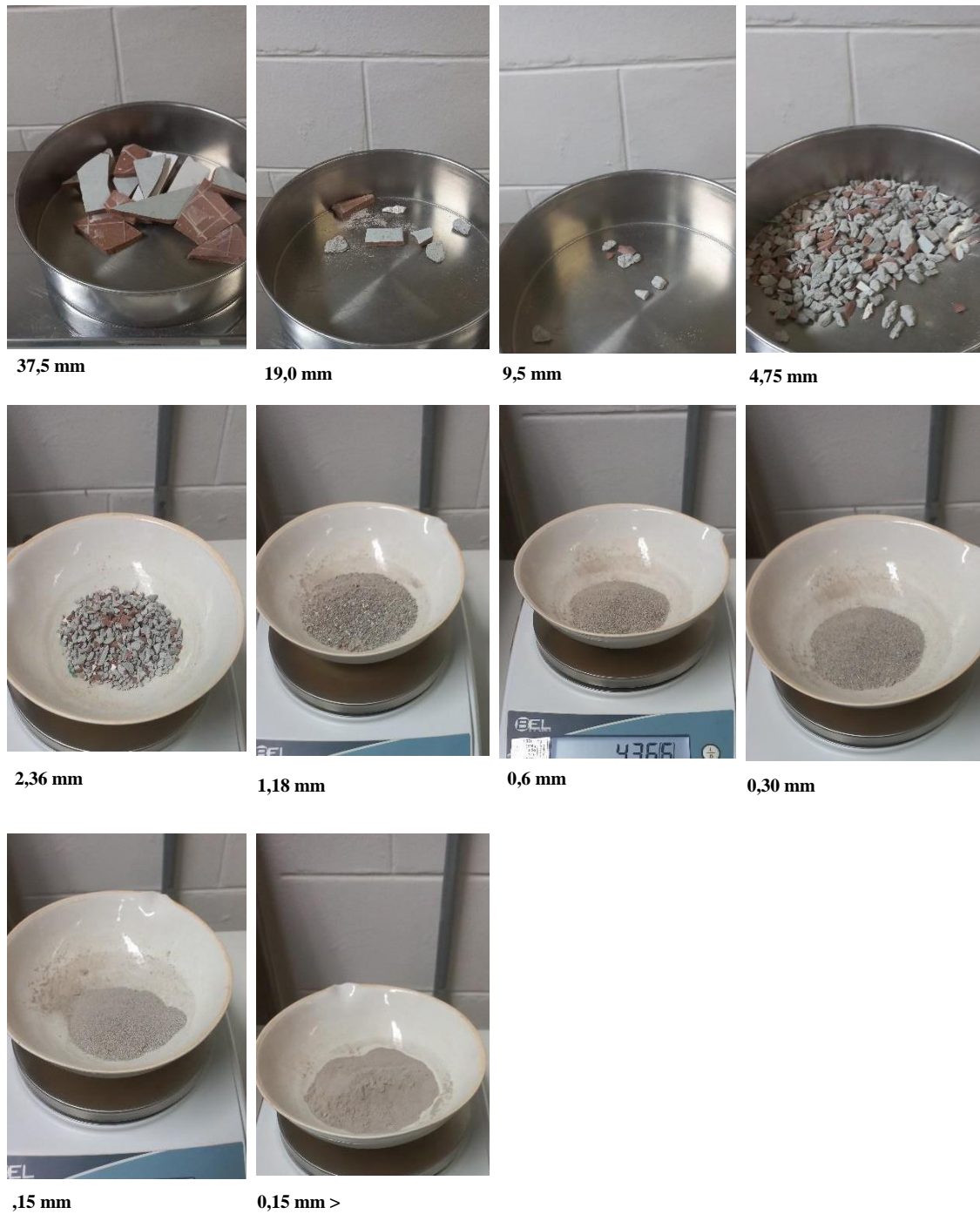


FIGURA 4 - Resíduo de cerâmica retido nas peneiras.

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2022).

## 6.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Foram analisados os ensaios de resistência mecânica aos 28 dias para os diferentes percentuais de substituição do agregado natural pelo reciclado, os valores obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 5 e no gráfico da Figura 07.

TABELA 5 – Fator multiplicativo p.

CP	Mpa (75% AGN e 25% AGR)	Mpa (55% AGN e 45% AGR)	Mpa (35% AGN e 65% AGR)	Mpa (15% AGN e 85% AGR)
	1	13,51369428	21,37018982	20,51728021
2	12,65485345	18,32391463	25,84944803	21,23495797
3	19,75096644	16,53624458	29,85895353	10,14238817
4	14,08309151	15,82449804	17,32509699	9,447249054
5	15,41880251	28,81268612	13,31084651	18,9158505
6	14,87194392	22,71301829	17,89093549	8,619250581
<b>Média</b>	<b>15,05</b>	<b>20,60</b>	<b>20,79</b>	<b>13,34</b>

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2023).

O ganho de resistência ao longo do tempo pode ser analisado a partir da observação dos dados de resistência à compressão existentes na Tabela 6, onde estão indicadas as médias dos resultados deste parâmetro para cada teor de substituição estudado. Na tabela foi indicado o desvio padrão e o parâmetro estatístico, que permitem uma melhor avaliação dos dados estudados. O desvio padrão indica o quanto os dados afastaram-se da média.

TABELA 6 – Desvio padrão.

Grupo de Substituição	n° amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão
15AGN_85AGR	6	8,62	21,2	10,9	13,3	5,36
35AGN_65AGR	6	13,3	29,9	19,2	20,8	6,07
55AGN_45AGR	6	15,8	28,8	19,8	20,6	4,84
75AGN_25AGR	6	12,7	19,8	14,5	15,0	2,50

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2023).

Além disso, foi feita uma análise conjunta desses resultados mediante os testes ANOVA (Tabela 7) e Tukey (Tabela 8). Estes testes foram utilizados para contrapor as médias de cada fator idealizado, considerado ao nível de 5% de significância, possibilitando identificar os níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes, assim como os níveis associados ao menor e ao maior valor médio.

TABELA 7 – ANOVA test.

	Grau de Liberdade	Soma Quadrada	Media Quadrada	F-valor	P-valor
TipoConcreto	3	262,2	87,41	3,67	0,0296
Residuals	20	476,4	23,82		

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2023).

TABELA 8 – Tukey test.

Pares de comparação	Diferença	Limite Inferior	Limite Superior	P-valor
35AGN_65AGR-15AGN_85AGR	7,449	-0,437	15,336	0,068
55AGN_45AGR-15AGN_85AGR	7,254	-0,633	15,140	0,078
75AGN_25AGR-15AGN_85AGR	1,706	-6,180	9,592	0,929
55AGN_45AGR-35AGN_65AGR	-0,195	-8,082	7,691	1,000
75AGN_25AGR-35AGN_65AGR	-5,743	-13,630	2,143	0,208
75AGN_25AGR-55AGN_45AGR	-5,548	-13,434	2,339	0,233

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2023).

Como o p\_valor é menor que 0,05 no teste ANOVA significa que existem diferenças entre as amostras. Porém, comparando os pares, em que o p\_valor foi maior que 0,05 no teste de Tukey, significa que os resultados são estatisticamente iguais.

Entretanto, para o teor de 75% AG + 25% AGR, os valores diferem significativamente do teor e 35% AGN + 65% AGR, ou seja, são menores a ponto de representar um decréscimo significativo na resistência à compressão dos blocos.

Neste sentido, empregou-se um teste paramétrico, Wilcoxon Test (Tabela 9), para avaliar a validade estatística dos resultados alcançados pela principal métrica de desempenho aqui adotada, em função dos conjuntos de dados não normalmente distribuídos.

TABELA 9 – Wilcoxon Test

Grupo 1	Grupo 2	#n1	#n2	p-valor
35AGN_65AGR	15AGN_85AGR	6	6	0,094
55AGN_45AGR	15AGN_85AGR	6	6	0,062
75AGN_25AGR	15AGN_85AGR	6	6	0,563
55AGN_45AGR	35AGN_65AGR	6	6	1
75AGN_25AGR	35AGN_65AGR	6	6	0,062
75AGN_25AGR	55AGN_45AGR	6	6	0,094

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2023).

A análise dos dados obtidos, após a realização dos ensaios de resistência à compressão, do ponto de vista estatístico, pode ser observada na Tabela 9. A partir dessa avaliação foi constatado que os valores encontrados para os teores de substituição de 75%, 55%, 35% e 15% não são diferentes dos resultados encontrados ( $p \geq 0,05$ ). Isto representa que a substituição de agregado natural por agregado reciclado, nestes teores, resistiu a mesma quantidade de tensão a ruptura.

Pode-se destacar que os resultados do grupo 35% e 75% possuíram resultados estatisticamente iguais, em função do p\_valor muito alto, indicando uma semelhança entre eles.

No entanto, comparando os resultados com o Buttler (2007) a ausência de controle de água adicionada na mistura contribuiu para esses resultados inferiores. Qualquer variação da umidade da mistura pode interferir expressivamente na massa dos corpos de prova e, consequentemente, na sua resistência.

De acordo Oliveira (2017) confirmou em sua pesquisa, a resistência pode sofrer influência em função do aumento do índice de vazios, ou seja, quanto mais poros existirem na estrutura do concreto permeável, a resistência à compressão diminui. Apesar de sofrerem variações

diferentes, todas as misturas obtiveram o mesmo comportamento. Além disso, o autor notou uma influência nos resultados em relação ao peso específico da amostra e do tempo de compactação empregado durante a moldagem.

Segundo Mikami<sup>1</sup> et al. (2017) para que a resistência do concreto atinja acima de 20 MPa seria necessário a modificação do traço, isto é, maiores quantidades de cimento na mistura proporcionariam um aumento na espessura da pasta de cimento que recobre o agregado.

Pederneiras et al. (2020) também verificaram que o uso do agregado reciclado não afeta a resistência à compressão do concreto. A partir dos resultados obtidos na pesquisa, os autores evidenciaram que a diminuição da resistência mecânica com agregado reciclado pode ser atribuída à relação água/cimento, maior absorção de água e à menor densidade dos agregados reciclados.

Os resultados dos ensaios evidenciam uma tendência de redução na resistência mecânica à medida que aumenta muito na proporção de agregado natural ou agregado reciclado, sendo que o melhor desempenho foi obtido quando adicionado dosagens de AGN e AGR com frações de substituição semelhantes.

Dessa forma, o grupo de substituição com 35% AGN e 65% AGR podem ser empregados na fabricação de pisos permeáveis destinados a tráfego de pedestres, pois possui resistência maior que 20 MPa.

### 6.3.PERMEABILIDADE

Nesta análise foi considerada a variação dos teores de agregado graúdo (AG) e miúdo (AM), portanto, a Tabela 10 apresenta os valores medidos para o tempo de percolação da água através do corpo de prova (CP).

TABELA 10 – Tempos de percolação da água através do corpo de prova.

Teor de Agregados	Dimensão do CP (cm)	Altura da carga hidráulica (cm)	Média do Tempo (s)	Coefficiente de Permeabilidade e K (m/s)
AG 95% + AM 5%	15,00 x 15,00	11,00	17,00	0,0011
AG 100% + AM 0%	15,00 x 15,00	12,00	14,00	0,0013

FONTE: COSTA, Gabriela C. Assis (2023).

Conforme os resultados obtidos, pode-se observar que as amostras estudadas atendem aos requisitos mínimos para considerar um pavimento como permeável segundo a ABNT NBR 16416 (2015), que é acima de 0,0010 m/s. tendo em vista que em ambas as amostras a água precipitada percolou com eficiência em um curto período como mostrado na tabela acima, bem como tiveram comportamentos parecidos.

De acordo com Oliveira (2017) nos ensaios de permeabilidade de carga constante, recomenda-se para a obtenção da capacidade de infiltração um coeficiente acima de 0,00001 m/s. Porém, foi observado que os resultados obtidos nos ensaios de carga constante apresentaram menor variação e menor coeficiente de permeabilidade, quando comparados com os ensaios de carga variável.

## 7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que o uso de agregados reciclados mistos em substituição dos agregados naturais altera significativamente as propriedades do concreto permeável. O teor de materiais também tem influência nas características do material, podendo ser um fator limitante.

Com relação aos resíduos de concreto e cerâmica, deve-se atentar às seguintes necessidades:

- O uso de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados reciclados é um avanço para a sustentabilidade no setor da construção civil, visto que esse processo reduz a exploração de recursos naturais e propicia uma alternativa de destinação, que pode ser utilizado na produção de novos materiais de construção civil.
- Gestão adequada dos resíduos de concreto e cerâmica, evitando-se a mistura de diferentes tipos de resíduos, fato esse que, quando negligenciado, pode reduzir a possibilidade de reciclagem do material e seu uso futuro.
- Recomenda-se para os sistemas construtivos a aplicação de práticas que visam a diminuição dos resíduos dentro do próprio canteiro de obra, ou seja, reutilização ou reciclagem do material.
- Baseado no resultado de resistência à compressão, foi possível verificar que o aumento da proporção das misturas provocou uma redução da resistência à compressão dos concretos, sendo que essa redução foi menor, quanto maior o teor de agregados secos.
- É necessário analisar outras propriedades físicas, principalmente, com relação à absorção de água.
- Com base em tudo que foi mencionado a respeito do objetivo principal desta pesquisa, concluiu-se que o concreto permeável é uma alternativa para se alcançar uma produção sustentável. Pois atingiu a sua principal característica, a permeabilidade acima de 0,0010/s e resistência de 20 MPa. Cabe ressaltar ainda que, adições agregadas reciclados miúdos, podem ser utilizadas, visando melhorar as propriedades mecânicas deste tipo de concreto, permitindo a ele um bom desempenho aliando resistência.

## **8. AGRADECIMENTOS**

Agradeço o meu orientador, Professor Dr. Neimar Duarte e meu coorientador Professor Dr. Harley Torres, agradeço a orientação exemplar pautada por um elevado e rigoroso nível científico, um interesse permanente e fecundo, uma visão crítica e oportuna. Saiba que serei eternamente grata por seus apoios. Vocês me passaram não só o conhecimento científico, mas me ensinaram agir como profissional, compartilhando suas experiências e me ensinando a pensar.

Ao laboratório do IFMG – Campus Santa Luzia e principalmente ao técnico do laboratório, Leandro Evangelista, por auxiliar na realização dos ensaios. Obrigada pela dedicação do seu tempo e conhecimento.

Por fim, agradeço a Precon Engenharia, em especial Marina Azeredo, que contribuíram para a concretização desta dissertação, estimulando-me intelectualmente, bem como no fornecimento de dados, matéria-prima e equipamentos para desenvolvimento da pesquisa.

## 9. REFERÊNCIAS

- BRASIL, 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, L. L. e MATOS, J. M. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica [online]**. 2015, v. 61, n. 358, p. 178-189. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>. Acesso em: 2 jul. 2022.
- CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. e SPOSTO, R. M. Avaliação do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. **Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, v.1, p.138–167. Disponível em: <https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3823>. Acesso em: 2 jul. 2022.
- CAMILO, B. Q.; CARDOSO, C.N.; BATISTA, S.B. e MARQUES, A.T. Solid waste in construction: management analysis of impacts impacted on the environment. **Research, Society And Development**, v. 11, n. 2, 2022. Disponível em: <https://Rsdjournal.Org/Index.Php/Rsd/Article/View/20994>. Acesso em: 24 abr.2022.
- GAYARRE, F.L.; LÓPEZ-COLINA, C. e SERRANO, M.A. Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW. **Research, Construction and Building Materials**, p. 1193–1199, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.040>. Acesso em: 12 jul.2022.
- FRANCISCO, J. T.; SOUZA, A. E. e TEIXEIRA, S. R. Construction and demolition waste in concrete: property of pre-molded parts for paving. **Cerâmica [online]**. 2019, v. 65, n.1, p. 22-26. Available from: Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-6913201965S12595>. Acesso em: 02 jul. 2022.
- JUAN-VALDÉS, A.; RODRÍGUEZ-ROBLES, D.; GARCÍA-GONZÁLEZ, J.; GUERRA-ROMERO, M.I. e MORÁN-DEL Pozo, J.M. Mechanical and microstructural characterization of non-structural precast concrete made with recycled mixed ceramic aggregates from construction and demolition wastes. **Journal Of Cleaner Production**, v.180, p. 482– 493, 2018. Disponível em: 10.1016/J.jclepro.2018.01.191. Acesso em: 30 mai. 2022.
- JUNIOR, A.C.; JACINTO, C.; OLIVEIRA, T.M; POLISSENI, A. E; BRUM, F.M; TEIXEIRA, E.R. e MATEUS, R. Characterisation and life cycle assessment of pervious concrete with recycled concrete aggregates. **Crystals**, v.11, p.209, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/Cryst110202>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- MIKAMI, R. J.; KRUGER, P.; PEREIRA, E.; KUMMER, A. C. e DÖLL, M. M. Influência do teor de cerâmica vermelha do reciclado nas propriedades do concreto permeável. **Revista Matéria**, v. 23, 2018. Disponível em: 10.1590/S1517-707620180003.049. Acesso em: 30 abr. 2022.
- MOTTA, R.S. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. **Catálogo USP**. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://10.11606/D.3.2005.tde-19072006-114729>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- NBR 13292: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 2021.
- NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.
- NBR 16416: **Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.
- NBR 5738: **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.
- NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.
- NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2022.
- NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

OLIVEIRA, L.C. Análise da permeabilidade e da colmatção em concretos permeáveis produzidos com agregado reciclado de concreto. **Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Pontifícia**

**Universidade Católica de Campinas.** São Paulo, p. 108, 2017. Disponível em: <https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/15115> . Acesso em: 08 ago. 2023.

PEDERNEIRAS, C. M.; DURANTE, M. D., AMORIM, Ê. F. e FERREIRA, R. L. Incorporation of recycled aggregates from construction and demolition waste in paver blocks. **Rev. Ibracon Estrut [online]**, v.13, 2020. Disponível em: [://Doi.Org/10.1590/S1983-41952020000400005](https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000400005). Acesso em: 29 abr.2022.

SILVA, L. A. e CASTRO, M. C. Cenário do gerenciamento dos RCC no município de São José do Rio Preto - SP. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 23, p. 79-93, 2020. Disponível em: [Https://Www.Revistarebram.Com/Index.Php/Revistauniara/Article/View/666](https://www.revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/666). Acesso em: 12 jul.2022.

TAVARES, L. M. e KAZMIERCZAK, C. S. The influence of recycled concrete aggregates in pervious concrete. **Revista Ibracon Estrut**, p. 75–89, 2016. Disponível em: [Https://Doi.Org/10.1590/S1983-41952016000100006](https://doi.org/10.1590/S1983-41952016000100006). Acesso em: 27 abr.2022.