

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE SÃO FRANCISCO DE PAULA
MESTRADO EM AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE**

GIANE ALVES MELLO

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM UMA
USINA DE RECICLAGEM VISANDO À APLICAÇÃO COMO PAVIMENTO PARA
CALÇAMENTO**

SÃO FRANCISCO DE PAULA

2022



GIANE ALVES MELLO

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM
UMA USINA DE RECICLAGEM VISANDO À APLICAÇÃO COMO PAVIMENTO
PARA CALÇAMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Hortênsias, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Sustentabilidade.

Orientadora: Prof^a. Dra. Suzana Frighetto Ferrarini

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Oliveira Caetano

SÃO FRANCISCO DE PAULA

2022

Catalogação de publicação na fonte (CIP)

M527c Mello, Giane Alves

Caracterização de resíduos da construção e demolição em uma usina de reciclagem visando aplicação como pavimento para calçamento/ Giane Alves Mello. – São Francisco de Paula: Uergs, 2022.

120 f. il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Unidade Hortênsias, 2022.

Orientadora: Prof.^a Dra. Suzana Frighetto Ferrarini

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Oliveira Caetano

1. Bloco de concreto. 2. Construção civil. 3. Sustentabilidade. 4. Dissertação. I. Ferrarini, Suzana Frighetto. II. Caetano, Marcelo Oliveira. III. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Unidade Hortênsias. IV. Título.

Bibliotecário Marcelo Bresolin CRB 10/2136

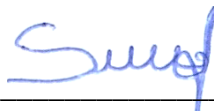
GIANE ALVES MELLO

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM UMA
USINA DE RECICLAGEM VISANDO À APLICAÇÃO COMO PAVIMENTO PARA
CALÇAMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Hortênsias, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Sustentabilidade.

Aprovado em: 12/09/2022

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Suzana Frighetto Ferrarini (orientadora)
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS



Profa. Dra. Daniela Mueller Lara
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS



Profa. Dra. Fernanda Pacheco
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS



Prof. MSc. Daniel Brinckmann Teixeira
Universidade Estadual do
Rio Grande do Sul/UERGS
Matrícula 3945880/01

Prof. Msc. Daniel Brinckmann Teixeira
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

“A Mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original”.
(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus, que me permitiu chegar até aqui.

Aos meus orientadores Profa. Dra. Suzana Frighetto Ferrarini e Prof. Dr. Marcelo Oliveira Caetano, os quais foram incansáveis em suas dedicações em orientação, com profissionalismo brilhante e muito empenho, meus mais sinceros agradecimentos.

Aos meus filhos amados que sempre estiveram ao meu lado, a minha mãezinha querida.

Aos queridos e brilhantes professores da Uergs Hortênsias, que com empenho e dedicação fazem um trabalho excelente.

Aos Meus colegas de caminhada acadêmica.

À Usina SBR, em especial ao Engenheiro Marcos, que oportunizou a condição de uso dos materiais para que fosse possível a realização deste trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

Meu agradecimento à Unisinos, aos laboratoristas da construção civil, os quais muito me ajudaram, em especial as laboratoristas Jalir e Marluci, muito obrigada.

Quero agradecer à SATC - Criciúma/SC pelas análises de FRX, especialmente ao pesquisador professor Dr. Thiago Fernandes de Aquino e a pesquisadora professora Dra. Beatriz Bonetti.

Também gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Marçal Pires e à instituição PUCRS - Centro de Microscopia, ao laboratorista Wagner por todo empenho em me assessorar, muita gratidão.

Enfim, a todos que de alguma forma estiveram ao meu lado me apoiando, minha gratidão.

A vida é um eterno aprendizado e nessa jornada vamos seguindo a subir os degraus do conhecimento para que possamos ser pessoas melhores e dignas dos que vão nos suceder nesta jornada. O conhecimento é para ser compartilhado a fim de que possamos fazer desta jornada um mundo melhor.

RESUMO

A construção civil é mundialmente reconhecida como um dos segmentos industriais que mais consome recursos naturais. Da mesma forma, é uma das maiores geradoras de resíduos sólidos do mundo: em torno de 50% dos resíduos gerados vem da construção e demolição. Embora se saiba que os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) possuem um percentual de 83% de reaproveitamento, no Brasil, somente 21% desses resíduos são reaproveitados. Grande parte dos RCDs é enviada para destinações ambientalmente inadequadas, tais como lixões, terrenos baldios, entre outros. Trata-se do resultado da falta de um plano de gestão integrada dos municípios com base na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) e na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) número 307. Neste sentido, esta pesquisa se propôs a desenvolver blocos de concreto com agregados reciclados da construção civil, visando ao reaproveitamento desse material pelo seu potencial e por sua relevância ambiental, social e econômica a fim de proporcionar novos campos de trabalho. A pesquisa foi embasada a partir da parceria realizada com uma usina de resíduos inertes localizada na região metropolitana de Porto Alegre/RS. Após coleta e identificação dos resíduos na usina entre os meses de julho e novembro de 2021, os ensaios se iniciaram pela caracterização dos RCDs selecionados, sendo eles os produtos reciclados conhecidos comercialmente como brita 1, brita 0 e pó de pedra. Para estes materiais, foram realizados testes granulométricos, testes de massa unitária e massa específica. Com base nos resultados apresentados por essas caracterizações, foi realizada em duas etapas a concretagem dos blocos e corpos de prova em diferentes taxas de substituição, seguido pela realização de testes de compressão e abrasão dos produtos gerados, após períodos de 28 e 60 dias. Estes produtos também foram caracterizados pelas técnicas de Fluorescência de Raios-X (FRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplado a um Sistema de Energia Dispersiva (EDS) e por testes ambientais com aplicação das normas ABNT NBR 10004/2004. Como resultado das principais caracterizações realizadas nos blocos e corpos de prova (traços com 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado), nota-se uma maior resistência à compressão aos 60 dias quando comparada aos 28 dias indicados pela norma. Aos 60 dias obteve-se um valor muito próximo (34,31 MPa) do indicado pela norma (35 MPa). Os resultados obtidos pela técnica de FRX nos blocos confeccionados mostraram a predominância dos óxidos de silício (SiO_2), óxido de cálcio (CaO), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de magnésio (MgO), óxido de enxofre (SO_3) e óxido de potássio (K_2O). Os teores obtidos destes elementos estão dentro dos limites estabelecidos para a composição do concreto. Os testes ambientais de lixiviação (NBR 10005)

e solubilização (NBR 10006) realizados nos corpos de prova classificaram o resíduo como Não Perigoso (Anexo F) e Não Inerte (Anexo G), respectivamente. A utilização de agregados reciclados em substituição aos agregados naturais na produção de concretos possui um grande potencial. Estudos relacionados ao desempenho dos produtos gerados com esta substituição são extremamente relevantes, pois trazem segurança e confiança aos profissionais da construção civil para empregar estes materiais nas obras e, assim, poder contribuir efetivamente com o meio ambiente e com a sociedade como um todo.

Palavras-chave: Construção civil. Sustentabilidade. Resíduos. Demolição. Bloco de concreto.

ABSTRACT

Civil construction is recognized worldwide as one of the industrial segments that most consumes natural resources. Likewise, it is one of the largest solid waste generators in the world: around 50% of the waste generated comes from construction and demolition. Although it is known that Construction and Demolition Waste (CDW) has a percentage of 83% of reuse, in Brazil, only 21% of this waste is reutilized. Most of the CDWs is sent to environmentally inappropriate destinations, such as dumps, wastelands, among others. This is the result of lacking an integrated management plan for the municipalities based on the National Solid Waste Policy (PNRS in Portuguese) and on the National Council for the Environment Resolution (CONAMA) number 307. Thereby, this research proposes to develop concrete blocks with recycled aggregates from civil construction, seeking this material's reuse for its potential and for its environmental, social and economic relevance, and providing new fields of work. The research was brought by a partnership with an inert waste company located in the metropolitan region of Porto Alegre/RS. After collecting and identifying the waste at the company between July and November 2021, the tests began with the selected CDWs' characterization, being them the recycled products commercially known as gravel 1, gravel 0 and stone dust. For these materials, granulometric tests, unit mass and specific mass tests were performed. Based on the results presented by these characterizations, the concrete blocks and specimens were concreted in two stages at different replacement rates, followed by compression and abrasion tests on the generated products after periods of 28 and 60 days. These products were also characterized by X-ray Fluorescence (XRF), Scanning Electron Microscopy (SEM) techniques coupled to an Energy-Dispersive System (EDS) and by environmental tests in accordance with ABNT NBR 10004/2004 Norms. As a result of the main characterizations performed on the blocks and specimens (traces with 100% natural aggregate's replacement by the recycled aggregate), there is a greater resistance to compressive strength at 60 days when compared to the 28 days indicated by the Norm. At 60 days, a very close value (34.31 MPa) to that indicated by the standard (35 MPa) was obtained. The results obtained by the XRF technique in the blocks made showed the predominance of oxides of silicon (SiO_2), calcium (CaO), aluminum (Al_2O_3), iron (Fe_2O_3), magnesium (MgO), sulfur (SO_3) and potassium (K_2O). The contents obtained from these elements are within the limits established for the concrete's composition. Environmental tests, leaching (NBR 10005) and solubilization (NBR 10006) classified the waste as Non-Hazardous (Annex F) and Not Inert (Annex G), respectively. The recycled aggregates' use to replace natural aggregates in the concrete's production has great potential. Studies related to

the products generated performance with this replacement are extremely relevant, as they bring safety and confidence to civil construction professionals to use these materials in the works, and thus be able to effectively contribute to the environment and society as a whole.

Keywords: Civil construction. Sustainability. Waste. Demolition. Concrete block.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Índice da Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos dos municípios no RS	29
Figura 2 – Fluxograma do programa experimental	37
Figura 3 – Descrição da localização da usina no município de Canoas com destaque para fotos dos pontos	39
Figura 4 – Usina de Reciclagem de RCD situada no município de Canoas/RS, foco deste estudo.....	41
Figura 5 – Agregados Reciclados obtidos na usina de RCD, objetos de estudo.	41
Figura 6 – Ensaio de massa unitária	44
Figura 7 – Vidraria utilizada para o teste de massa específica (Picnômetro).....	45
Figura 8 – Etapas do teste de lixiviação segundo NBR 10005.....	48
Figura 9 – Imagens demonstrativas do processo de produção dos corpos de prova	54
Figura 10 – Equipamento para Ensaio de Compressão e Tração	56
Figura 11 – Resistência à compressão obtida para os traços de concreto do primeiro teste	77
Figura 12 – Resistência à compressão obtida para os traços de concreto do segundo teste.....	78
Figura 13 – Imagem MEV obtida para o RCD pó de pedra	87
Figura 14 – Imagem MEV obtida para o RCD brita 0	88
Figura 15 – Imagem MEV obtida para o RCD brita 1	89
Figura 16 – Imagem MEV para os corpos de prova T1, T2, T3 e T4	90
Figura 17 – Espectros EDS obtidos para os para os traços da primeira concretagem.....	91
Figura 18 – Micrografias obtidas por MEV para a amostra 1 (pó) - Traço Referência	94
Figura 19 – Micrografias obtidas por MEV para a amostra 2 (pó e grão) - Traço 2.....	94
Figura 20 – Imagem MEV com espectro EDS para a amostra Traço Referência obtida na segunda concretagem.....	95
Figura 21 – Imagem do produto feito no laboratório	103
Figura 22 – Apresentação Cartilha	106
Figura 23 – Banner de Apresentação dos RCD na Aplicação do Bloco para Pavimentação .	106
Figura 24 – Imagem com apresentação do material, colegas do mestrado e a Prof ^ª Dra. Suzana Ferrarini	106
Figura 25 – Divulgação da entrevista na rádio	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de resíduos sólidos com base no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do RS	28
Tabela 2 – Dados mundiais de geração de RCD	30
Tabela 3 – Caracterização Gravimétrica dos RCD obtidas em diferentes locais	31
Tabela 4 – Alternativas de Reutilização para os RCDs na Construção Civil.....	33
Tabela 5 – Nomenclatura dos Agregados Reciclados	42
Tabela 6 – Caracterização física a ser aplicada nos RCDs gerados na usina bem como as normas a serem utilizadas.....	43
Tabela 7 – Dados de pH e massas obtidas na aplicação do teste de lixiviação, NBR 10005 ...	49
Tabela 8 – Dados de umidade, pH e massas obtidas na aplicação do teste de lixiviação, NBR 10005	50
Tabela 9 – Características dos diferentes tipos de Cimento Portland.....	51
Tabela 10 – Dosagem do concreto - Primeiros traços	53
Tabela 11 – Segunda Amostra da Dosagem do concreto	54
Tabela 12 – Classificação dos RCDs conforme usina Estudo de Caso	57
Tabela 13 – Classificação dos RCDs da usina Estudo de Caso com base na resolução CONAMA 307	58
Tabela 14 – Comercialização dos produtos reciclados na usina Estudo de Caso.....	58
Tabela 15 – Módulo de finura do agregado miúdo - areia natural	59
Tabela 16 – Teste granulométrico dos agregados graúdos – areia média, brita 1 e brita 0.....	60
Tabela 17 – Teste Granulométrico do RCD - Pó de Pedra nas coletas realizadas na usina ao longo de 2021	62
Tabela 18 – Teste Granulométrico do RCDB0	64
Tabela 19 – Testes Granulométrico do RCD B1	66
Tabela 20 – Teste de massa unitária do RCDPB.....	69
Tabela 21 – Teste de massa unitária do RCDB0	70
Tabela 22 – Teste de massa unitária do RCDB1	71
Tabela 23 – Teste de massa específica do RCDPB	72
Tabela 24 – Teste de massa específica da areia natural	73
Tabela 25 – Teste de massa específica do RCDB0	74
Tabela 26 – Teste de massa específica do RCDB1	75
Tabela 27 – Resistência à compressão obtida para os traços de concreto do primeiro teste....	77

Tabela 28 – Resistência à compressão obtida para os traços de concreto do segundo teste	78
Tabela 29 – Teste de resistência à tração para os traços do primeiro e do segundo teste	79
Tabela 30 – Resistência à abrasão realizada nos traços do primeiro e do segundo teste	80
Tabela 31 – Resultados obtidos por FRX para os agregados (RCDs) e corpos de prova	82
Tabela 32 – Resultados obtidos por FRX, na forma de óxidos, para os corpos de prova do 2º teste realizado com uso dos agregados. Onde: T1 = traço referência; T2 = substituição da areia natural pelo pó de pedra (areia reciclada).....	83
Tabela 33 – Resultados obtidos por MEV-EDS para a amostra Traço Referência obtida na segunda concretagem.....	95
Tabela 34 – Resultados obtidos para o pH nas amostras submetidas ao teste de lixiviação durante a definição da solução extratora	96
Tabela 35 – Resultados obtidos com aplicação do teste de lixiviação segundo NBR 10005. Resultados obtidos por ICP-OES.	97
Tabela 36 – Resultados obtidos com aplicação do teste de solubilização segundo NBR 10006. Resultados obtidos por ICP-OES	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ARC	Agregado de Resíduo de Concreto
ARM	Agregado de Resíduo Misto
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CP	Cimento Portland
CPs	Corpos de Prova
DMC	Diâmetro máximo característico
E	Módulo de elasticidade
Ecs	Módulo de elasticidade secante do concreto
Fck	Resistência característica à compressão do concreto
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
FRX	Espectrometria por Fluorescência de Raios-X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MF	Módulo de Finura M
Mpa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma MERCOSUL
ONU	Organização das Nações Unidas
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PVS	Pavimento de Concreto Intertravado
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
SFH/BNH	Sistema Financeiro de Moradias
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1	CAMPO - CIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	22
3.2	CONSTRUÇÃO CIVIL E MEIO AMBIENTE.....	23
3.2.1	A sustentabilidade dos materiais de construção.....	24
3.3	AÇÕES DE GESTÃO AMBIENTAL	24
3.4	RESÍDUOS SÓLIDOS	26
3.4.1	Conceitos e classificação	26
3.4.2	Geração, tratamento e destinação final.....	29
3.5	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	30
3.6	REUTILIZAÇÃO DE RCD NA PAVIMENTAÇÃO	33
3.6.1	Especificações	33
3.6.2	Estudos de pavimentos utilizando resíduo reciclado	34
3.6.2.1	Estudo de Caso I.....	35
3.6.2.2	Estudo de Caso II	36
3.6.2.3	Estudo de Caso III.....	37
4	METODOLOGIA DA PESQUISA	38
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.2	ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCDS) QUE CHEGAM À USINA	40
4.3	ETAPA 2: CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS GERADOS PELA USINA.....	40
4.3.1	Caracterização física dos materiais	42
4.3.1.1	Ensaio Granulométrico.....	43
4.3.1.2	Ensaio Massa Unitária.....	44
4.3.1.3	Ensaio de Massa Específica Agregado Miúdo	45
4.3.1.4	Ensaio de Massa Específica Agregado Graúdo.....	46
4.3.2	Caracterização química, morfológica e ambiental dos materiais	47
4.3.2.1	FRX, MEV-EDS	47

4.3.2.2	Ensaio de Lixiviação	47
4.3.2.3	Ensaio de Solubilização	50
4.4	ETAPAS 3 E 4: CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E BLOCOS DE CONCRETO	50
4.4.1	Caracterização dos materiais para confecção dos corpos de prova e blocos	51
4.4.1.1	Cimento	51
4.4.1.2	Agregado Graúdo	52
4.4.1.3	Agregado Miúdo	52
4.4.1.4	Água de amassamento	52
4.4.2	Caracterização mecânica dos corpos de prova	52
4.4.2.1	Mistura	52
4.4.2.2	Trabalhabilidade	55
4.4.2.3	Moldagem	55
4.4.2.4	Cura	55
4.4.3	Caracterização química, morfológica e ambiental dos corpos de prova	55
4.4.4	Ensaio de resistência à compressão axial	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
5.1	GERAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RCDS RECEBIDOS PELA USINA	57
5.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PRODUTOS NATURAIS E DOS PRODUTOS GERADOS A PARTIR DO RCD	59
5.2.1	Análise granulométrica dos materiais naturais (areia e brita)	59
5.2.2	Análise granulométrica – RCDPB	61
5.2.3	Análise granulométrica – RCDB0	63
5.2.4	Análise granulométrica – RCD B1	66
5.2.5	Massa unitária	69
5.2.6	Massa específica para agregado miúdo	72
5.2.7	Massa específica para agregado graúdo	73
5.3	RESULTADO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA	76
5.3.1	Ensaio de resistência à compressão	76
5.3.2	Ensaio de resistência à tração	79
5.3.3	Ensaio de Resistência à abrasão	79
5.4	APLICAÇÕES DE RCD COMO AGREGADO EM CALÇAMENTOS	80

5.5	RESULTADO DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, AMBIENTAL E MORFOLÓGICA DOS PRODUTOS GERADOS A PARTIR DOS RCD E CORPOS DE PROVA	81
5.5.1	Caracterização por FRX.....	82
5.5.2	Caracterização por MEV-EDS.....	86
5.5.2.1	Caracterização Morfológica dos RCDs.....	86
5.5.2.2	Caracterização Morfológica dos traços gerados usando os RCDs.....	89
5.6	RESULTADOS DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO.....	96
5.6.1	Ensaio de Lixiviação.....	96
5.6.2	Ensaio de solubilização	97
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
7	PRODUTOS TÉCNICOS	102
7.1	PRODUTO 1 – PRODUÇÃO DO BLOCO DE CONCRETO COM RCD	103
7.2	PRODUTO 2 – PRODUTO DE TECNOLOGIA DE ORIENTAÇÃO – CARTILHA DE ORIENTAÇÃO	104
7.3	PRODUTO 3 – EXPOSIÇÃO DO TRABALHO NA FEIRA DO PINHÃO... ..	106
7.4	PRODUTO 4 – ENTREVISTA NA RÁDIO COMUNIDADE FM 87.9 – PROGRAMA FALA SERRANO	109
	REFERÊNCIAS.....	111

1 INTRODUÇÃO

O século XXI é marcado pela sociedade industrial e tecnológica, que vem multiplicando a produção de bens de consumo e refletindo no meio ambiente. O crescimento demográfico no planeta em 2019 era de 7,7 bilhões de pessoas, podendo chegar a 9,7 bilhões até 2050 (NAÇÕES UNIDAS, 2019). No Brasil, em 2022 o índice demográfico é de 214.833.185, conforme dados do IBGE (2022). A expansão das cidades devido ao aumento populacional produz o desenvolvimento urbano e expande a construção civil. A partir da década de 1930, o estado passou a subsidiar a indústria, criando incentivos para o crescimento, dando início à construção de rodovias e iniciando uma crescente migração rural/urbana, uma sonhada busca dos empregos industriais. Mas nas décadas de 50/60 do século XX, com o crescimento demográfico, não havia moradia suficiente para todos, mas a Era Vargas ficou marcada pela criação de políticas públicas habitacionais, dando início à habitação social no Brasil (FERREIRA, 2005).

Com a abertura do capital estrangeiro no Brasil, inicia-se uma nova perspectiva de desenvolvimento, a expansão da burguesia industrial e a abertura do capital internacional. Instituiu-se, assim, a implantação de infraestruturas e moradias, intensificando o crescimento urbano. Ao compararmos a 1940, o índice populacional urbano era de 26,34%, já em 1980 esse índice chegou a 68,86% (FERREIRA, 2005).

A partir de 1970, com a criação de políticas públicas de incentivo ao direito à habitação, surge o modelo SFH/BNH, um sistema de financiamento de moradias, parceria público-privada com grandes construtoras com o objetivo de alavancar a infraestrutura urbana, saneamento e habitação, proporcionando grandes mudanças nas cidades (FERREIRA, 2005). Por outro lado, nas décadas de 1980/90, devido às crises econômicas, houve um retrocesso de volta ao rural, porém, o crescimento urbano das metrópoles continuou aumentando por parte da população que permaneceu (MARTINE, MCGRANAHAN, 2010).

As teorias desenvolvimentistas inspiraram na sociedade ocidental modelos de desenvolvimento socioeconômico elencados pelos avanços técnico-científicos (ALMEIDA, 1997). Já Sen (2007) descreve desenvolvimento como um processo de expansão das liberdades com determinantes condicionais (serviços, educação e saúde) em contraposição ao conceito de desenvolvimento capitalista que visa somente crescimento da indústria, avanço tecnológico, aumento de renda e modernização social.

Com o avanço industrial e a expansão econômica, a relação sociedade-natureza tende ao desequilíbrio sob a percepção humana em relação ao ambiente (FLEURY, 2014), devido ao alto consumo pela sociedade capitalista em que vivemos.

As concepções ambientais de sustentabilidade, preservação e diminuição dos impactos incidem diretamente na forma de como o ser humano se relaciona com o meio em que vive e explora (OLIVEIRA, 2004). Isso está atrelado ao comportamento da sociedade do século XXI, a qual precisa entender e aplicar os conceitos da sustentabilidade dentro do desenvolvimento sustentável. No relatório Brundtland (1987) é onde aparece pela primeira vez a expressão desenvolvimento sustentável, que tem como significado “satisfazer as necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras” (TORRALBA, 2010). O jurista Juarez Freitas (2019) define como princípio constitucional aquele que determina a promover o desenvolvimento propício ao bem-estar (social, econômico, ético, ambiental e jurídico-político) com direito fundamental das gerações presentes e futuras, estando expresso na constituição no Art. 225.

O desafio está na busca do equilíbrio entre proteção ambiental, justiça social e economia estável. Por trás do desenvolvimento há muita desigualdade social, sendo que um quarto da população mundial vive na extrema pobreza e 50% da população mundial não tem saneamento básico. Além disso, 26% das crianças estão desnutridas. Para enfrentarmos esses problemas, necessitamos de políticas de desenvolvimento com a responsabilidade de todos (HOGAN *et al.*, 2010).

Com a expansão urbana, as cidades alavancaram na sua infraestrutura, elevando o crescimento da construção civil, setor responsável pela transformação do ambiente natural no ambiente construído e sua manutenção e preservação (HOGAN *et al.*, 2010). A cadeia produtiva de materiais de construção possui um impacto significativo no meio ambiente pela extração e transformação dos recursos naturais. Estima-se que entre 50% e 75% dos materiais extraídos da natureza retornam como resíduos no período de um ano (GOLDEMBERG, 2012). Nunca foi tão desafiador pensar na concepção das cidades, sua infraestrutura, projetos urbanos, mobilidade urbana, saneamento, rios e eficiência energética. As consequências disso têm impactado globalmente o meio ambiente, que tem sido alterado drasticamente em prol de um desenvolvimento, no qual a construção civil presente tem gerado 50% dos resíduos. A cadeia produtiva vai da extração dos recursos, passando a produção e transporte, concepção do projeto, até a construção e demolição. Todas essas etapas envolvem recursos naturais que vão refletir na economia e no social. Esse impacto significativo tem que ser mitigado de forma a produzir um desenvolvimento social em que a responsabilidade seja compartilhada entre a sociedade, órgãos governamentais e empresas (HOGAN, 2010).

Conforme dados da Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, o Brasil gerou resíduos sólidos urbanos em torno de 79 milhões de toneladas em 2018, sendo 380 kg/ano/hab. Destes, 59,5% foram destinados aos aterros sanitários, o restante (40,05%) foi descartado de forma irregular. Já os resíduos da construção civil geraram 122.012 toneladas/dia, sendo que somente na região sul foram 16.246 toneladas/dia (ABRELPE, 2019). No ano de 2020 a pandemia da COVID-19 afetou o mundo drasticamente e vários setores da economia como um todo, com a gestão dos resíduos não foi diferente. No Brasil ela atingiu 82,5 milhões de toneladas, sendo 225.965 toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro gerou, em média, 1,07 kg por dia, sendo somente na região sul 0,805 kg por habitante. Já em relação aos resíduos da Construção e Demolição (RCD), no Brasil, foram geradas 46.997.400 toneladas no ano, sendo 221,19 kg/hab/ano. Na região Sul foi de 6.369.615 toneladas ano, sendo 210,97 kg/hab/ano (ABRELPE, 2021).

O gerenciamento dos resíduos sólidos, incluindo os perigosos, é obtido através da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei 12.305/2010) (BRASIL, 2010) que dispõe, além dos princípios, objetivos e instrumentos, as diretrizes relativas à gestão integrada dos resíduos da construção civil com base na Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), (BRASIL, 2002). Um grande marco no que tange aos resíduos foi atingido com a lei, mas ainda há necessidade de sua completa aplicação, em especial, no que tange à gestão integrada dos resíduos sólidos por parte dos municípios. No estado do Rio Grande do Sul, somente 47% declararam possuir um plano de gestão integrada conforme levantamento realizado pela FEPAM (RIO GRANDE DO SUL, 2014a). Porém, desses 47%, a maioria dos municípios não tem estratégias práticas de como proceder com os resíduos, principalmente os da construção civil (RIO GRANDE DO SUL, 2014a) fazendo com que aumente o índice de descarte irregular e tais descartes são deixados em logradouros, beira de rios, vias públicas, etc. Essa responsabilidade deve ser compartilhada entre a gestão municipal, empresas e sociedade, uma vez que não é só uma questão ambiental, mas de saúde pública. Devido ao despreparo dos municípios, os resíduos RCD não têm sido aproveitados como deveriam e os que não são descartados de forma irregular vão para um aterro de inertes licenciado pela FEPAM.

A empresa SBR, uma usina especializada em reciclagem de RCD, chegou ao estado do Rio Grande do Sul em 2019 e tem por objetivo realizar a transformação dos resíduos inertes em agregados, os quais podem retornar como produtos ao município. Instalada no município de Canoas/RS, a empresa, por meio de parceria firmada com a prefeitura, recolhe os mais variados tipos de resíduos sólidos resultantes de obras e podas de árvores que, na chegada à usina, passam

por um processo de separação. Após a segregação do material, ocorre o processo de trituração, em que os resíduos são separados por granulometria gerando quatro produtos, sendo eles denominados: rachão, brita 1, brita 0 e pó de pedra (areia reciclada), os quais são utilizados no próprio município (SBR, 2021).

O potencial de reaproveitamento dos RCD é bastante alto, conforme dados, 83% dos resíduos são passíveis de reaproveitamento (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016), ou seja, são materiais com elevado potencial de reciclagem.

Conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), os blocos PVS são peças de concreto para pavimentação intertravada sujeita a tráfego de pedestre e veículos. Esse tipo de pavimentação passou a ser muito utilizada no século XIX sendo no Brasil, a partir dos anos 1990 que se iniciou sua utilização em calçadas e ruas (FIORITI et al., 2007). Seu uso se intensificou nos últimos anos devido ao baixo custo de reparos, reaproveitamento de 94% das peças, além de ter uma durabilidade em torno de 20 anos, bem maior que o pavimento asfáltico que é de 8 a 12 anos (FIORITI et al., 2007)). As calçadas passaram a ter uma concepção voltada para a sustentabilidade. O bloco de concreto PVS não é permeável, mas devido a sua estrutura de camadas sobre areia e subleitos, não recebendo nenhuma vedação lateral, faz com que a água percole retornando ao solo, evitando inundações nas calçadas e ruas.

Com base no que foi exposto, os objetivos da pesquisa baseiam-se na realização da caracterização dos resíduos de construção e demolição (RCD) oriundos de uma usina de reciclagem, visando à aplicação do agregado reciclado na construção de blocos de concreto do tipo PVS como pavimento para calçamento.

2 OBJETIVOS

A presente seção se destina a estabelecer os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterização dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD) oriundos de uma usina de reciclagem localizada na cidade de Canoas/RS, visando à aplicação do agregado reciclado, na construção de blocos como pavimento para calçamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a composição quali-quantitativa dos resíduos sólidos recebidos na entrada da usina, estudo de caso;
- b) Caracterizar física e quimicamente os RCDs reciclados selecionados (Pó de Pedra, Brita 0 e Brita 01), visando à potencial aplicação;
- c) Aplicar testes ambientais (FRX, MEV, Lixiviação e Solubilização) e mecânicos a fim de garantir a qualidade e segurança do pavimento gerado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta a temática a ser tratada e trará conceituações sobre as principais dinâmicas que serão apresentadas ao longo do trabalho nos capítulos: Campo – Cidade e Desenvolvimento Sustentável, Construção Civil e Meio Ambiente, Ações de Gestão Ambiental, Resíduos Sólidos, Resíduos da Construção e Demolição, Reutilização de RCD na Pavimentação.

3.1 CAMPO - CIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A metrópole existe desde a antiguidade, se não Nínive e Babilônia, pelo menos Roma e Alexandria já colocavam para seus habitantes problemas que vivenciamos hoje nas cidades. A partir da revolução industrial, as pessoas passaram a migrar do campo para a cidade dando origem às metrópoles, por isso, o século XX é considerado como a era das metrópoles. O contínuo crescimento das ocupações urbanas gerado pela emigração, ocasiona conflitos de classes existentes na cidade, gerado pela informalidade, sem acompanhamento de serviços e infraestrutura em sua composição. O aparecimento de novos grupos sociais são relatos do crescimento nas cidades (SEGRE, 1991).

Na década de 1950, 30% da população vivia em áreas urbanas. Em 2019 esse índice passou para 55% e a previsão até 2050 é que chegará a 70% (ONU, 2019). No Brasil, conforme dados da ONU, a população que vive em cidades já chega a 90%. Com relação à população rural, em 1950, 63,8% da população vivia no campo, porém, em 2010, esse índice baixou para 15,7% da população, devido ao crescimento urbano, sendo a maior concentração nas regiões Sudeste e Nordeste (AZEREDO, 2012). Conforme dados do IBGE (2010), a população rural continua diminuindo, porém, com índices menores que a década anterior (PARIS *et al.*, 2017).

As transformações tecnológicas e o crescimento demográfico despertaram nas nações a preocupação de buscar uma gestão mais inclusiva, eficiente e inovadora, na busca pela tecnologia do controle de dados como abastecimento de alimentos, controle de tráfego, eliminação de resíduos e a busca de melhorias para o cidadão (MAULEN; MARINHO; ETEROVIC, 2019). Desta forma,

A ecologia tradicional visualizava a ação do homem como uma “externalidade”, como um modificador dos ecossistemas, considerando-o um fator de perturbação (como uma mudança climática ou uma alteração sísmica, por exemplo). Com esta visão, deixava de incluir, com o devido peso, o papel predominante desempenhado pelo homem na biosfera, sua responsabilidade direta em sua evolução e,

consequentemente, a necessidade de considerar os aspectos intangíveis ou não quantificáveis da mente humana, tais como a percepção de seu entorno e a maneira de conceber a qualidade de vida, baseado nos quais o homem toma decisões e altera o ambiente. (CASTELLO, 1999, p. 23).

O espaço ambiental é alterado pelo homem, no sentido tecnológico dos materiais aplicados, ocasionando mudanças na paisagem e essa interferência gera impactos e mudanças na percepção tanto no campo tecnológico quanto psicológico da percepção ambiental (CASTELLO, 1999). O espaço construído deve estar inserido na natureza como parte dele e não o contrário (WRIGHT, 1938), pensamento que expressa a concepção do espaço como deveria ser, já que Wright foi um dos maiores arquitetos do século XX, o idealizador da arquitetura orgânica.

Já para Berque (1984), a paisagem é a uma impressão porque expressa uma civilização que se relaciona com as modificações realizadas pelo homem, o que é compartilhado com a sociedade. O contexto urbano altera nossa percepção, a importância do resgate da percepção do espaço como parte da nossa história, convivência e parte integrante.

3.2 CONSTRUÇÃO CIVIL E MEIO AMBIENTE

A construção civil é essencial para atender as necessidades da sociedade com o objetivo de proporcionar abrigo, conforto com qualidade e segurança. É o setor da indústria que mais cresce no mundo, gerando emprego e crescimento econômico. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), nos primeiros meses de 2020, a construção civil obteve um crescimento de 8,4% em relação ao ano anterior, e com um índice de contratação de mão de obra de 20,7 mil empregos (CBIC, 2020).

Ao mesmo tempo, a construção é responsável por uma parcela significativa da extração dos recursos naturais, do consumo de energia e de água, da emissão de gases de efeito estufa, além de ser um dos maiores geradores de resíduos sólidos (GLOBO CIÊNCIAS, 2014).

No Brasil, o processo de construção civil ainda é muito primário se comparado a outros países. A qualidade técnica da construção é baixa e o índice de desperdícios dos insumos são altos, aumentando consequentemente a geração de resíduos (MELHADO, 2012). Outro aspecto importante trata do processo construtivo informal, em que empresas trabalham à margem da lei, sonegando os direitos a funcionários e obrigações sociais. Adicionalmente, os princípios ambientais não são respeitados ao que parte das empresas do segmento descartam os resíduos de forma inapropriada (ROMÉRO; BRUNA, 2010).

O Brasil coletou, em 2019, 44 milhões de toneladas de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) (ABRELPE, 2020), um índice muito alto para ser descartado em aterros sanitários, sendo que 83% desses resíduos são passíveis de reaproveitamento (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016).

3.2.1 A sustentabilidade dos materiais de construção

A importância dos materiais de construção se dá no contexto da construção sustentável devido aos impactos provocados pela extração da matéria necessária para a sua produção. Nas últimas décadas cresceu a preocupação pelo esgotamento das reservas de matérias-primas (TORGAL, 2010). Os acidentes ocorridos pela exploração mineral e desastres ecológicos demonstram estado de alerta, requerendo medidas urgentes. Com relação à extração e transformação dos materiais, é necessária uma atenção mais precisa. Conforme descreve Torgal (2010), os ensaios de lixiviação são extremamente relevantes, pois podem fornecer uma caracterização básica dos resíduos, dar informações em relação ao meio ambiente, permitindo avaliar a existência de substâncias contaminantes e seu percentual. Devido à fabricação dos materiais de construção, seja o cimento ou outros materiais, pode haver metais tóxicos e é por meio deste tipo de teste que se pode verificar se esses materiais não vão apresentar perigo à sociedade ou ao meio ambiente durante a sua utilização.

As vantagens da correta gestão dos resíduos estão associadas não somente às questões ambientais, mas também ao valor econômico, o qual possui grande relevância. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2002 apud TORGAL, 2010) mostra estatisticamente que enquanto 10.000 toneladas de resíduos depositados em aterros geram seis postos de trabalho, a mesma quantidade de resíduos, se for reciclada, pode gerar 36 postos de trabalho, demonstrando, assim, que a reciclagem dos resíduos da construção não somente beneficia o meio ambiente, mas proporciona crescimento econômico pela criação de novos postos de trabalho.

3.3 AÇÕES DE GESTÃO AMBIENTAL

No que diz respeito aos resíduos sólidos, sua geração está vinculada às atividades do ser humano na sociedade. Com o crescimento industrial e o desenvolvimento urbano, têm-se gerado ciclos biogeoquímicos com alterações na sua formação e composição em relação aos processos geológicos, hidrológicos e biológicos (ZILBERMAN, 1997). O entendimento desses

e outros fenômenos torna-se relevante para que se possa solucionar os problemas com base nas legislações vigentes.

A NBR 10004/2004 (ABNT, 2004b), NBR dos resíduos sólidos, aparece como norteadora ao caminho a ser percorrido, uma vez que tem por objetivo a classificação dos resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Ela abrange o gerenciamento, de forma adequada, de resíduos resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, serviços de varrição e lodos provenientes do tratamento da água. Conforme essa norma, os resíduos são classificados em:

- a) Resíduos Classe I – Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos, sendo:
 - ❖ Resíduos Classe II A – Não inertes.
 - ❖ Resíduos Classe II B – Inertes

Já a PNRS (BRASIL, 2010) é mais ampla em seus objetivos, sendo as diretrizes voltadas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos, à responsabilidade dos geradores e do poder público e está em conformidade com a Resolução 307 do Conama, que trata dos resíduos da construção civil.

Cada estado possui sua legislação sobre os resíduos sólidos. O estado do Rio Grande do Sul possui a Política Estadual dos Resíduos Sólidos (RIO GRANDE DO SUL, 2014b), por meio da qual incentiva os municípios a criarem um plano de gestão integrada aplicando o “Reduzir, Reciclar e Reutilizar”, principalmente os resíduos da construção civil. No entanto, somente 47% dos municípios possui um plano de gestão integrada. A grande parte dos municípios que criaram esse plano de gestão integrada falta um plano de ação para o reaproveitamento dos resíduos sólidos e para o investimento em educação ambiental. A falta dessas estratégias de ação faz com que os municípios encaminhem esses resíduos para aterros sanitários, desconsiderando o potencial de reaproveitamento e geração de renda associado a tais materiais (RIO GRANDE DO SUL, 2014a).

Uma ação entre o município de Canoas e a empresa Soluções de Beneficiamento de Resíduos e Comércio Ltda (SBR) está trazendo benefícios ambientais, econômicos e sociais para o município. Essa parceria resultou em uma correta destinação para o elevado volume de resíduos da construção civil gerados nas metrópoles. A usina produz diferentes agregados reciclados com a trituração e segregação dos RCDs. Os materiais reciclados vão dar origem a diversos produtos como, por exemplo, tijolos ecológicos, concreto ecológico, piso drenante, entre outros (SBR, 2020).

3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme Cynthia Roncaglio (2012), ao longo da história da humanidade a relação entre sociedade e natureza foi se alterando na medida em que o homem foi se distanciando da natureza. Para Jabbour (2014), a gestão ambiental acontece quando há uma preocupação no âmbito empresarial tornando os processos, serviços e produtos ambientalmente adequados à logística reversa, dentro das legislações ambientais.

A construção civil é um setor que demanda muitos recursos naturais gerando grande volume de resíduos e grande parte destes não retornam para a cadeia produtiva (SANTOS; MARCHESINI, 2018).

Conforme dados da ABRELPE, no Brasil foram gerados 122.012 ton./dia de RCD, e por habitante 0,824 kg/dia, porém, na Região Sul, o qual compreende o estado do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, foram geradas 16.246 toneladas/dia, num total de 1191 municípios entre os três estados (ABRELPE, 2019). A maioria desses resíduos são descartados em aterros sanitários, não havendo um reaproveitamento desses passivos. É um problema socioambiental enfrentado pela sociedade moderna, o que exige ações urgentes para seu enfrentamento.

3.4.1 Conceitos e classificação

A Lei 12.305/10 conceitua resíduos sólidos como:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Conceito similar, muito utilizado nacionalmente também está relatado pela NBR 10.004:

Aqueles resíduos em estados sólidos e semissólidos que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, de varrição ou agrícola. Incluem-se lodos de ETA (Estações de Tratamento de Água) e ETE (Estações de Tratamento de Esgotos), resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, e líquidos que não possam ser lançados na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia possível (ABNT, 2004b).

Esta mesma norma classifica os resíduos sólidos em:

Classe I – Resíduos Perigosos: são aqueles que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidências de doenças e/ou riscos ao meio ambiente, quando manuseados ou destinados de forma inadequada, ou ainda apresentarem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;

Classe II-A Resíduos Não Perigosos – Não Inertes: são todos resíduos ou misturas de resíduos que não se enquadrarem nas classificações de resíduos Classe I e Classe II-B e podem apresentar propriedades como, combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;

Classe II-B Resíduos Não Perigosos – Inertes: são aqueles que não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente. Submetidos ao teste de solubilização conforme procedimento descrito na ABNT (2004), Norma NBR 10.006, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aqueles de aspecto, cor, turbidez e sabor (ABNT, 2004b).

A Lei 12.305 apresenta também sua classificação:

I - quanto à origem:

- a) **resíduos domiciliares:** os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) **resíduos de limpeza urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) **resíduos sólidos urbanos:** os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) **resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) **resíduos dos serviços públicos de saneamento básico:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) **resíduos industriais:** os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) **resíduos de serviços de saúde:** os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) **resíduos da construção civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) **resíduos agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) **resíduos de serviços de transportes:** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) **resíduos de mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

- a) **resíduos perigosos:** aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade,

carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) **resíduos não perigosos**: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do caput se caracterizam como não perigosos. (BRASIL, 2010).

Com base nesses conceitos, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (RIO GRANDE DO SUL, 2014a) categoriza os tipos de resíduos sólidos e define a estratégia de gerenciamento integrado dos resíduos com base nos conceitos “reduzir, reciclar e reutilizar” a partir do qual incentiva os municípios a criarem o plano de gestão integrada. A Tabela 1 apresenta esta categorização, considerando um tratamento adequado com base na sua descrição.

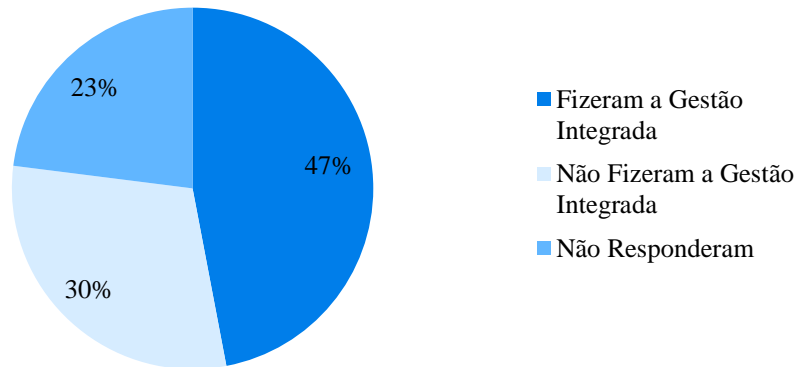
Tabela 1 – Tipos de resíduos sólidos com base no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do RS

Categoria	Descrição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSD	Resíduos Sólidos Demolição
RSSS	Resíduos Sólidos Sistema Saúde
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RSP	Resíduos Sólidos Perigosos
RCD	Resíduos de Construção e Demolição

Fonte: Elaborado pela autora com base em Rio Grande do Sul (2014a).

Já a Figura 1 demonstra o índice de municípios que realizaram o plano de gestão integrada dos resíduos sólidos no estado, o qual está previsto no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Porém, na prática, muitos municípios que desenvolveram o plano de gestão integrada não possuem um plano de ação voltado para a educação ambiental e reaproveitamento dessas substâncias com base nos dados avaliados da FEPAM.

Figura 1 – Índice da Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos dos municípios no RS



Fonte: Elaborado pela autora com base em Rio Grande do Sul (2014a).

3.4.2 Geração, tratamento e destinação final

O último relatório da Associação Brasileira de Empresas de Limpezas Públicas e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), com dados de geração de resíduos de 2019, mostra que naquele ano foram coletadas 72 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU). Esses dados representam um índice de 348,9 kg/hab/ano. Avaliando-se a década de 2010 e 2019, os dados mostram um incremento de coleta de resíduos de cerca de 14 milhões de toneladas/ano, ou seja, entre 2010 e 2019, a geração de resíduos aumentou aproximadamente 20%.

O Relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2020), que apresenta um diagnóstico mais abrangente das cidades brasileiras, mostra que foram coletadas 65,11 milhões de toneladas/ano ou 178,4 mil toneladas/dia de RSU nos municípios brasileiros. Isso representa um indicador médio de coleta per capita brasileiro de 0,99 kg/hab. dia. Com relação à destinação final da massa de resíduos coletados, esse mesmo relatório mostra que 48,1 milhões de toneladas foram dispostas em aterros sanitários, o que corresponde a 75,1% do total aproximado. Já 15,9 milhões de toneladas foram dispostas em unidades de disposição final consideradas inadequadas (aterros controlados e lixões), que correspondem juntas a 24,9% do total disposto em solo (BRASIL, 2020).

O Relatório da ABRELPE (2019) demonstra que 59,5% (cerca de 43 milhões de toneladas/ano) dos RSU foram encaminhados para destinações ambientalmente adequadas (aterro sanitário). No entanto, ainda 40,5% do total de resíduos é disposto em locais irregulares.

Contudo, na Região Sul, que compreende 1191 municípios, a geração de resíduos sólidos urbanos foi de 22.586 toneladas diárias de RSU; destes, 29% foram encaminhados para locais inadequados, aterros controlados e lixões. Salienta-se que os resultados apresentados nos relatórios desses dois importantes órgãos demonstram que ainda falta, para uma grande parcela dos municípios gaúchos, um plano de gestão integrada com base na segregação e reaproveitamento desses materiais.

3.5 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A resolução do Conama nº 307 (BRASIL, 2002) define resíduos de construção e demolição como:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2002, p. 1).

Esta mesma legislação e suas alterações classificam os RCD como:

I - Classe A- são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras; [sic]

- **Classe B** - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).

- **Classe C** - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).

- **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. (Redação dada pela Resolução nº 348/04) (BRASIL, 2002).

Com relação a geração de RCD, conforme dados da ABRELPE, em 2019 o Brasil gerou cerca de 121.000 toneladas/dia, o que representa um índice de 213.5 kg/habitante/ano. O mesmo relatório revela que, entre os anos de 2010 e 2019, houve um incremento de coleta de RCD no

país de 10 milhões de toneladas (ABRELPE, 2019). A Tabela 2 apresenta estimativas de geração de RCD em outros países.

Tabela 2 – Dados mundiais de geração de RCD

País	Geração
Espanha (LLATAS, 2011)	Em 2010 - 39,27 milhões de toneladas de RCD. O autor também apresenta os indicadores de geração: 120,0 kg/m ² para novas construções, 338,7 kg/m ² para reabilitação e 1129,0 kg/m ² para demolição total e 903,2 kg/m ² para demolição parcial.
Iraque (KHARRUFA, 2006)	Cerca de 320 toneladas de entulho. Uma média de 116,5 toneladas por edifício e cerca de 2,15 toneladas para cada 10 m ² .
Estados Unidos (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016)	Em 2003 - Geração de 170 milhões de toneladas.
Grécia (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016)	2000 - Geração de 3,9 milhões de toneladas.
Noruega (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016)	2002 - Geração de 1,3 milhão de toneladas.
Espanha (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016)	2009 - Novas construções geraram 0,3076 m ³ /m ² e demolições 1,2676 m ³ /m ² .
Coreia do Sul (DING e XIAO, 2014)	1999 - 8,63 milhões de toneladas.
Shanghai (China), (DING e XIAO, 2014)	2012 - 13,71 milhões de toneladas de RCD.
Estados Unidos (DING e XIAO, 2014)	520 kg/hab.ano.
Alemanha (DING e XIAO, 2014)	710 kg/hab.ano.
Reino Unido (DING e XIAO, 2014)	500 kg/hab.ano.
Austrália (DING e XIAO, 2014)	400 kg/hab.ano.
Japão (DING e XIAO, 2014)	800 kg/hab.ano.
Grécia (DING e XIAO, 2014)	646 kg/hab.ano.
Portugal (DING e XIAO, 2014)	186 kg/hab.ano.
Passo Fundo, RS (BERNARDES, <i>et al.</i> , 2008)	Estimativa de um volume 27.130 m ³ /ano ou 36.897 ton/ano. Equivalente a uma geração per capita de 0,55 kg/hab.dia.
Fortaleza, CE (OLIVEIRA, <i>et al.</i> , 2011a)	Cerca de 702 ton/dia ou 0,11 ton./hab.dia.
Pelotas, RS (TESSARO, <i>et al.</i> , 2012)	Geração de 315,08 m ³ /ano, taxa de geração per capita de 1,23 kg/hab.dia e uma densidade igual de 1,28 ton/m ³ .

Fonte: Autora (2022).

Embora com um índice de geração elevado, 80% destes resíduos possuem potencial de serem reaproveitados no canteiro de obras como agregado, por exemplo. Na China, em virtude dos terremotos, todos os resíduos são reaproveitados depois de serem inspecionados. No entanto, esta não é uma realidade nacional. O relatório da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON) de 2015 mostra uma

estimativa de que apenas 21% desses resíduos são reciclados ou reaproveitados (ABRECON, 2015). As pesquisas de Caetano, Lambiase e Gomes (2016) e Kern et al. (2015) justificam esse índice baixo de reciclagem a nível mundial. Segundo os autores, pode-se citar: inexistência de um inventário qualitativo de RCD, dificuldades de segregação e classificação, inviabilidade econômica e técnica de reciclagem do resíduo na própria obra, entre outros.

Assim, um aspecto importante certamente refere-se à composição gravimétrica desses RCD. Diversos estudos na literatura demonstram que esses materiais apresentam diferentes características, contudo, em grande parte, é possível perceber índices maiores de geração relacionados a tijolos e concretos. Alguns destes estudos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização Gravimétrica dos RCD obtidas em diferentes locais

País	Composição Gravimétrica			
Espanha (LLATAS, 2011)	54% é cerâmica, 12% concreto, 7% rejeito, 5% rochas, 5% asfalto, 4% agregado, 4% madeira, 2,5% metais, 1,5% plástico, 0,5% vidro, 0,3% papel, 0,2% gesso e 4% outros.			
Brasil (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016)	Para os resíduos de demolição, a composição era: 63,8% tijolos e blocos; 22,6% concreto; 8,4% madeira; 3,1% metal e 2,1% gesso.			
Brasil (PASCHOALIN FILHO <i>et al.</i> , 2014)	Material	Localidade		
		SP	SC	BA
	Concreto e Argamassa	96%	53%	37%
	Solo e Areia	32%	22%	15%
	Cerâmica	53%	14%	12%
Rochas	18%	0%	5%	
Outros	5%	36%	6%	
Brasil (PATRÍCIO <i>et al.</i> , 2013)	O solo apresentou elevados teores de sílica (SiO ₂), alumina (Al ₂ O ₃) e óxido de ferro (Fe ₂ O ₃), totalizando cerca de 85% da composição total.			
China (CAETANO; SELBACH; GOMES, 2016)	Em 2008 - resíduos gerados por terremotos e reaproveitados na construção: 39,76% tijolo, 54,59% concreto, 2,20% aço, 3,29% madeira, 0,16% outros.			
Iraque (KHARRUFA, 2006)	Cerca de 320 toneladas de entulho. Uma média de 116,5 toneladas por edifício e cerca de 2,15 ton para cada 10 m ² . Concreto 115,20 ton; tijolo 52,70 ton; cerâmica 3,9 ton.			
Shanghai -China (DING e XIAO, 2014)	42,9% concreto; 38,3% tijolos e blocos; 11,2% madeira; 6,5% metal e 1,1% gesso.			
Passo Fundo, RS (BERNARDES, <i>et al.</i> , 2008)	Classe A com 94,8%, seguido pelo resíduo da Classe B com 3,1% e pelo resíduo da Classe C com 2,1%.			
Fortaleza, CE (OLIVEIRA, <i>et al.</i> , 2011a)	65% Classe A (38% de argamassas, 14% de concreto e 13% de cerâmica vermelha).			
Pelotas, RS (TESSARO, <i>et al.</i> , 2012)	88% - Classe A; 11% Classe B e 1% é matéria orgânica.			

Fonte: Autora (2022).

A formação da crosta terrestre é composta de 95% de rochas ígneas, 4% de argilíferas, 0,75% de arenitos e 0,25% de calcários e pozolanas (rochas vulcânicas). Os minerais como feldspato, quartzo e biotita estão presentes nessas formações rochosas. O processo de extração das rochas por britagem concede uma qualidade maior aos materiais extraídos. Porém, nos resíduos de demolição, nem sempre se consegue obter essa riqueza de minerais na composição, o que faz a resistência mecânica ser menor (OLIVEIRA, 2011b). Porém, Patrício et al. (2013) realizaram testes nos RCDs comprovando a eficiência dos agregados retirados da demolição de um laboratório. Esses RCDs apresentaram propriedades de minerais como sílica, alumina e pozolanas. Salienta-se que o solo extraído da jazida próxima é argiloso. Após o período de cura de 60 e 90 dias foram testados a compressão onde, os resultados foram superiores às especificações da norma ABNT, de 35 MPa. Estes resultados são positivos, porém, quanto ao uso estrutural, ainda não se tem comprovação quanto a sua resistência.

Devido a disponibilidade de RCD a partir de restos de concreto, cerâmica e argamassa, aliado ao potencial de reutilização destes materiais para fins nobres, inúmeras pesquisas foram desenvolvidas buscando incorporações na própria construção civil e na pavimentação. A Tabela 4 apresenta algumas destas pesquisas.

Tabela 2 – Alternativas de Reutilização para os RCDs na Construção Civil

Autores	Formas de reutilização
LAZZERIS <i>et al.</i> , (2019)	substituição do agregado miúdo por PET 5%, 10% e 15% volume.
SANTOS <i>et al.</i> , (2016)	substituição do agregado miúdo convencional (areia), por RCD na proporção de 20%, 40%, 60% e 100%. Mas a resistência ficou entre 20%, 30% e 40%.
MESQUITA <i>et al.</i> , (2015)	RCD em substituição aos materiais convencionais (areia, seixo, pedra britada e pó de pedra)
SILVA <i>et al.</i> , (2017a)	mistura de referência (C0) de traço em massa 1,0:0,77: 2,33: 1,11 e 0,43 cimento; areia; pó de pedra; brita 0 e água). Nas demais misturas, parte da areia foi substituída pelo resíduo de borracha nas seguintes porcentagens em massa: 2,5% (C1), 5,0% (C2), 7,5% (C3), 10% (C4), 20% (C5) e 50% (C6).

Fonte: Autora (2022).

3.6 REUTILIZAÇÃO DE RCD NA PAVIMENTAÇÃO

3.6.1 Especificações

A pavimentação no Brasil passou a ser normatizada em 1960, uniformizando a norma de acordo com o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Na conjuntura atual, têm sido realizado vários projetos de reutilização dos RCDs como em aplicação em pavimentos, inclusive este trabalho visa à utilização dos RCDs na confecção de blocos intertravados para aplicação na pavimentação.

A NBR 9781 (ABNT, 2013) estabelece requisitos e métodos para pavimentos de concreto intertravados com a finalidade de calçamento para passagem de pedestres e veículos; estruturas construídas após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamentos.

Conforme a lei 9.503/97, que propõe o código de trânsito (BRASIL, 1997), e a lei complementar 12/1975 do Código de Posturas de Porto Alegre (PORTO ALAGRE, 1975), calçada é a parte da via, em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins, com denominação de faixa acessível (passeio) a parte da calçada ou pista de rolamento, neste caso, separada por pintura ou elemento físico separador, livre de interferências, destinada à circulação exclusiva de pedestres e, excepcionalmente, de ciclistas.

Os tipos de pavimentos se classificam em “rígidos” e “flexíveis”, sendo os pavimentos rígidos confeccionados em concreto Portland (camada de revestimento) devido aos esforços de flexão; já os flexíveis são os que possuem como revestimento o asfalto composto por agregados e ligantes asfálticos. Os pavimentos flexíveis são chamados de pavimentos asfálticos por sofrerem deformação elástica sob carregamento aplicado (BRASIL, 2006).

O pavimento bloco de concreto é um sistema de pavimentos que teve sua origem na Mesopotâmia há 5000 anos A.C, sendo utilizado pelos romanos no ano 2000 A.C. Sua evolução para pedras talhadas ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, quando os blocos passaram a ser fabricados em grande escala. Em 1970, chegaram ao Brasil, sendo fabricados em forma industrial com elevada resistência mecânica e durabilidade (ABCP, 2010). Conforme as exigências técnicas, o setor conta com as normas da ABNT.

3.6.2 Estudos de pavimentos utilizando resíduo reciclado

Com relação ao tema resíduo e pavimentação, foco deste trabalho, a NBR 15.116 (ABNT, 2004a) estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos

sólidos da construção civil. Os agregados reciclados, conforme a norma, são destinados a obras de pavimentação viária, sub-base de pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Segundo a NBR acima, os Agregados Reciclados de Concreto (ARC) podem ser divididos em:

a) Agregados compostos de no mínimo 90% de rochas e materiais derivados de cimento Portland, na sua porção graúda;

b) Agregado de Resíduo Misto (ARM): agregado composto de no máximo 90% de rochas e materiais derivados de cimento Portland, na sua porção graúda;

Os principais clientes consumidores do agregado reciclado são as construtoras, representando 28% do consumo. Na sequência, vêm os órgãos públicos representando 24%, pessoas físicas com 20%, pavimentadoras com 14% e outros consumidores 14%. Os valores praticados pelas usinas são baixos, 48% têm o preço do agregado reciclado inferior a R\$ 15,00/m³ (ABRECON, 2015).

A seguir, apresentam-se alguns Estudos de Caso envolvendo a substituição do agregado miúdo natural por diferentes tipos de resíduos como polietileno, agregado reciclado e borracha na confecção de blocos para pavimentação.

3.6.2.1 Estudo de Caso I

Lazzeris et al. (2019) propuseram uma pesquisa cujo objetivo foi avaliar a viabilidade técnica da substituição de parte do agregado miúdo, de blocos intertravados, por plástico do tipo polietileno (PET) e Polietilenotereftalato (PET), para atingir uma compressão de 40 a 50 MPa.

Conforme os autores, na produção do bloco foram utilizados cimento Portland de alta resistência inicial (cimento tipo CP-V (ARI). Em relação aos outros componentes que foram substituídos por plásticos, usaram-se os critérios de 0, 1, 2, 3, 4, 5 e 10% em relação à fração miúda. O tipo de plástico foi uma blenda (PE+PET), cedidos por uma empresa parceira. A determinação das granulometrias dos agregados miúdo e graúdo atenderam à NBR NM 248, na qual o percentual retido que passa pela malha deve ser igual ou inferior a 5%.

Como conclusão, os autores verificaram que, com aplicação de 1% de PE+PET, obteve-se uma resistência mínima à compressão de 50 Mpa para ser usado em pavimentação de tráfego pesado; já para tráfego leve, o índice pode ser na faixa de 1 a 2% (LAZZERIS *et al.*, 2019).

3.6.2.2 Estudo de Caso II

Santos *et al.*, (2014) propuseram uma pesquisa com objetivo de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado reciclado (RCC) para confecção de um bloco para pavimentação, verificando sua resistência mecânica na substituição de 20% a 100%. As características físicas dos agregados foram determinadas a partir dos ensaios de massa específica aparente e massa específica, granulometria, massa unitária, módulo de finura e diâmetro máximo característico. Os blocos foram desenvolvidos junto a uma empresa especializada em blocos intertravados com base na norma NBR 9780, que tem como padrão a resistência mecânica à compressão de 35 MPa para blocos de pavimentação para tráfego e 50 MPa para tráfego pesado.

Os resultados dos ensaios de caracterização física dos agregados graúdos mostraram um valor de massa específica aparente e massa unitária de 2,61 g/cm³ e 1,362 g/cm³, respectivamente. Porém, o agregado miúdo natural possui massa específica aparente de 2,090 g/cm³ e massa unitária de 1,205 g/cm³, portanto, um pouco menor que os obtidos no estudo. O ensaio de finura do agregado miúdo natural é de 0,911 e o diâmetro máximo 0,6 mm, sendo que o agregado miúdo reciclado apresentou massa específica aparente e massa unitária de 1,170 g/cm³ e 1,280 g/cm³, respectivamente menor que o agregado natural. No ensaio de granulometria, obteve-se o módulo de finura do agregado miúdo reciclado de 3,291 e diâmetro máximo de 9,5 mm.

Quanto à dosagem empregada e o traço específico, adotou-se a proporção seguida na ordem cimento, areia, brita e água de 1: 2,27: 1,27: 0,91, respectivamente, com a substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado (RCD), nas proporções de 20%, 30%, 40%, 50% e 100%. Foram moldados corpos de provas nas medidas de 20 cm x 10 cm x 6 cm, conforme as normas especificadas para testes de resistência à compressão. Foram curados na câmara úmida até 24 h antes de serem ensaiados no período de 28 dias. O total de ensaios foram seis, com medidas de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado nas proporções de: 0% - 36%, 20% - 43,70%, 30% - 47,78%, 40% - 36,05%, 60% - 32,46, 100% - 25,30%. Portanto, a conclusão obtida foi que o índice ideal de agregado reciclado na substituição pelo natural ficou entre 20%, 30% e 40%, em que a norma prevê, para cargas leves para pavimentação, o índice de 35 MPa.

3.6.2.3 Estudo de Caso III

Silva et al. (2017a) propuseram uma pesquisa com objetivo de utilização de resíduos de borracha de pneu na substituição do agregado miúdo, nas proporções de 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 20% e 50%. Os pisos intertravados foram submetidos a ensaios de compressão axial. No processo de moldagem da mistura foram usados os seguintes materiais: Cimento Portland tipo CP V-ARI (alta resistência inicial), agregado miúdo de origem quartzosa, agregado graúdo de origem basáltica, resíduos de borracha proveniente do processo de recauchutagem de pneus e aditivos super plastificantes. Os agregados foram caracterizados em massa específica, massa unitária, granulometria e módulo de finura.

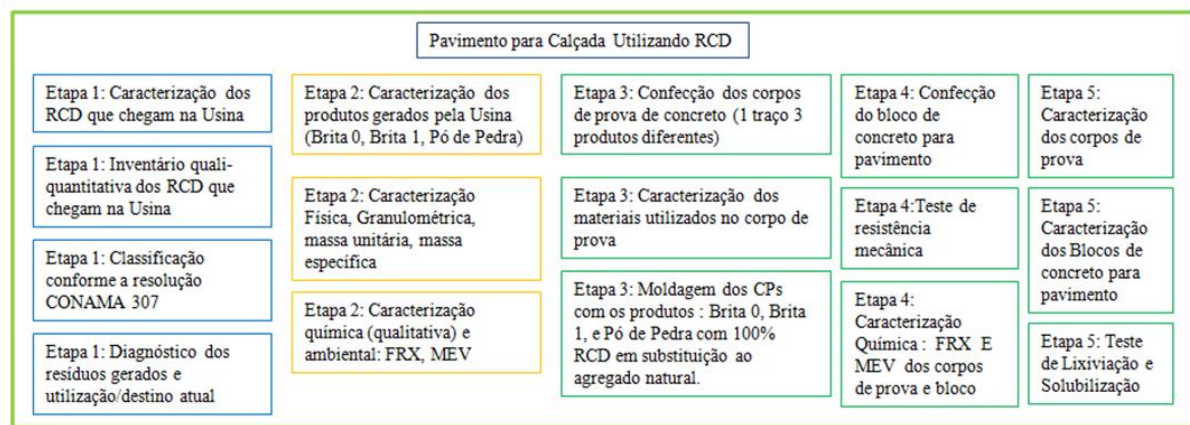
Foram analisados sete traços, sendo a mistura de referência (Co) com traço de: cimento; areia; pó de pedra; brita 0 e água como sendo 1; 0,77; 2,33; 1,11 e 0,43. Nas demais misturas, parte da areia foi substituída por resíduo de borracha nas proporções de: C₁ - 2,5%; C₂ - 5,0%; C₃ - 7,5%; C₄ - 10%; C₅ - 20% e C₆ - 50%. Após o período de cura de 7 e 28 dias, foram realizados os ensaios de compressão conforme as NBRs, sendo observado para cada intervalo de substituição da borracha de pneu por agregado miúdo natural um aumento de resistência de até 10% de substituição. Neste caso, obteve-se o índice máximo de sua resistência, podendo ser empregado seu uso para pisos intertravados para cargas pesadas, com uma substituição de até 10%.

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos que foram utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Trata-se de um estudo de caso, além de ser uma pesquisa experimental aplicada com uma abordagem quantitativa baseada nos experimentos realizados em laboratório.

A pesquisa foi dividida em cinco etapas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 2 e detalhado na sequência deste capítulo.

Figura 2 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Autora (2022).

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo de caso abordado nesta pesquisa se originou de uma parceria com uma Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) instalada no município de Canoas, no Estado do Rio Grande do Sul. A partir disso, todo o trabalho foi abordado considerando os processos e produtos comercializados por esta empresa.

Num contexto maior, cabe inicialmente a descrição do município de Canoas pertencente à mesma região metropolitana de Porto Alegre. A cidade possui o segundo maior PIB e a quarta maior população do estado. A extensão territorial é de 130,789 km², com uma densidade demográfica de 2.470,15 hab/km² (IBGE, 2020).

A empresa que opera a Usina de RCD no município de Canoas possui matriz na cidade de Jundiaí, estado de São Paulo. A Organização atua no mercado há 10 anos, objetivando o

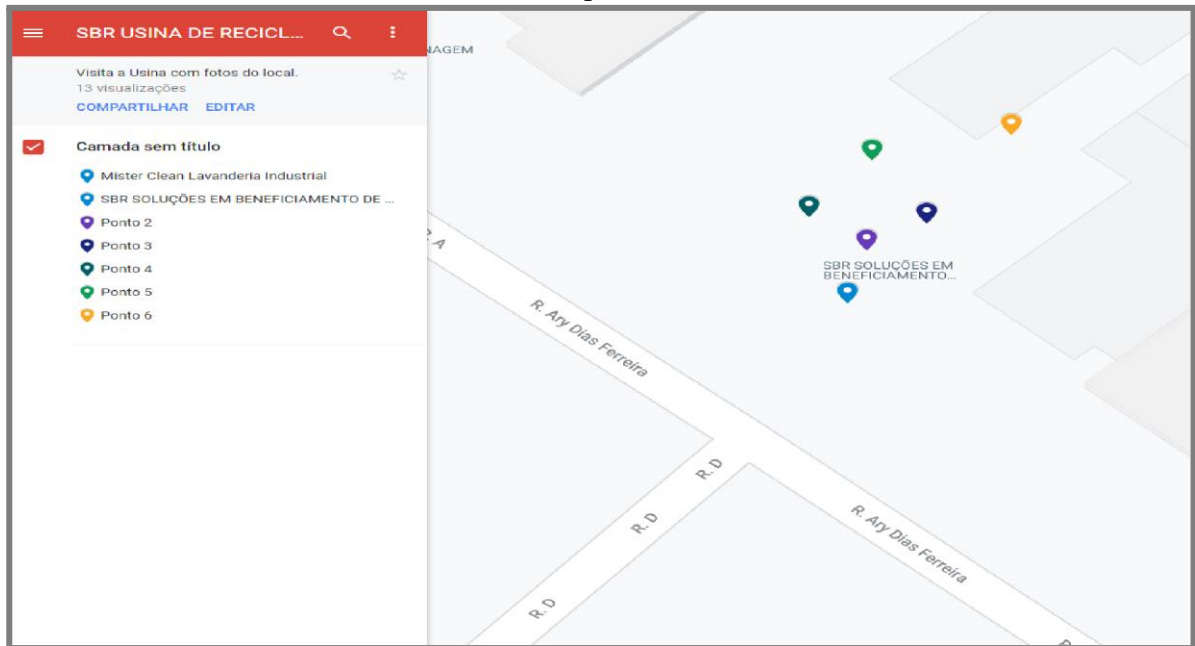
reaproveitamento do entulho de RCD que seria descartado de forma irregular ou até levado para aterros sanitários (SBR, 2020).

Ao longo dos anos, a empresa passou por aprimoramentos, desenvolvendo métodos eficazes de trabalho, implantando tecnologias próprias a fim de oferecer a excelência no beneficiamento dos RCDs e a inserção dos produtos reciclados na cadeia produtiva. Na busca pela melhoria da qualidade de seus produtos, a empresa está em constante evolução por alternativas ecológicas seguindo os preceitos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) (SBR, 2020).

Em 2019, a usina chegou ao estado do Rio Grande do Sul se instalando no Parque Industrial Jorge Lanner, Bairro Niterói, Canoas, possuindo densidade territorial de 21 hectares, o maior do Brasil (PREFEITURA DE CANOAS, 2019). De forma resumida, os processos de operação da Usina podem ser descritos em 4 etapas:

- a) Coleta e Transporte de RCD: por meio de ecopontos, coleta de descartes clandestinos, recebimento de resíduos depositados em caçambas e PEV (Ponto de Entrega Voluntária);
- b) Recebimento dos RCDs: todos os resíduos são pesados na entrada da Usina e identificados quanto a sua origem;
- c) Separação, Classificação, Armazenamento Temporário: a separação e classificação são realizadas visualmente na entrada do RCD na Usina. Posteriormente, são descarregados em áreas de armazenamentos específicos, conforme a classe do RCD: Classe A - resíduos reutilizáveis na construção civil, como blocos, concretos, argamassa, terra e areia; Classe B - é constituída de plásticos, papelão, ferro, vidro e madeira; Classe C - é composta por materiais não recicláveis como resíduo orgânico.
- d) Tratamento e Destinação: dos RCDs da classe A, seguem para o processo de britagem e peneiramento, resultando em agregados com diferentes granulometrias, para reutilização na construção civil. Já os resíduos de classe B, como papelão, papel e plástico são comercializados e os recursos são destinados ao Fundo Municipal de Limpeza Urbana. A madeira está sendo armazenada na usina, ainda sem nenhuma utilização definida. Os resíduos de classe C são os que ainda não possuem tecnologias economicamente viáveis para sua reutilização e são encaminhados para empresas ou destinação ambientalmente adequada. Na Figura 3, está apresentado o mapa com a localização e apresentação dos processos da usina do estudo de caso.

Figura 3 – Descrição da localização da usina no município de Canoas com destaque para fotos dos pontos



Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1rukUSXby-lh-wUPhFnFDSZYyqVTU19-u&usp=sharing>. Fonte: Elaborado pela autora com base em Google Maps (2022).

4.2 ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCDs) QUE CHEGAM À USINA

Para determinação da composição quali-quantitativa dos RCDs recebidos na entrada da Usina, fez-se uma compilação dos dados secundários, disponibilizados pela empresa responsável pela operação da usina. Adicionalmente, mensalmente, nos períodos entre junho/2021 e dezembro/2021, foi feita a coleta de dados primários, buscando a confirmação e avaliação da qualidade dos RCDs recebidos.

4.3 ETAPA 2: CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS GERADOS PELA USINA

Os RCDs, objetos de interesse desta pesquisa, passam por um processo de moagem, peneiramento e separação física granulométrica. A Figura 4 mostra as etapas mencionadas.

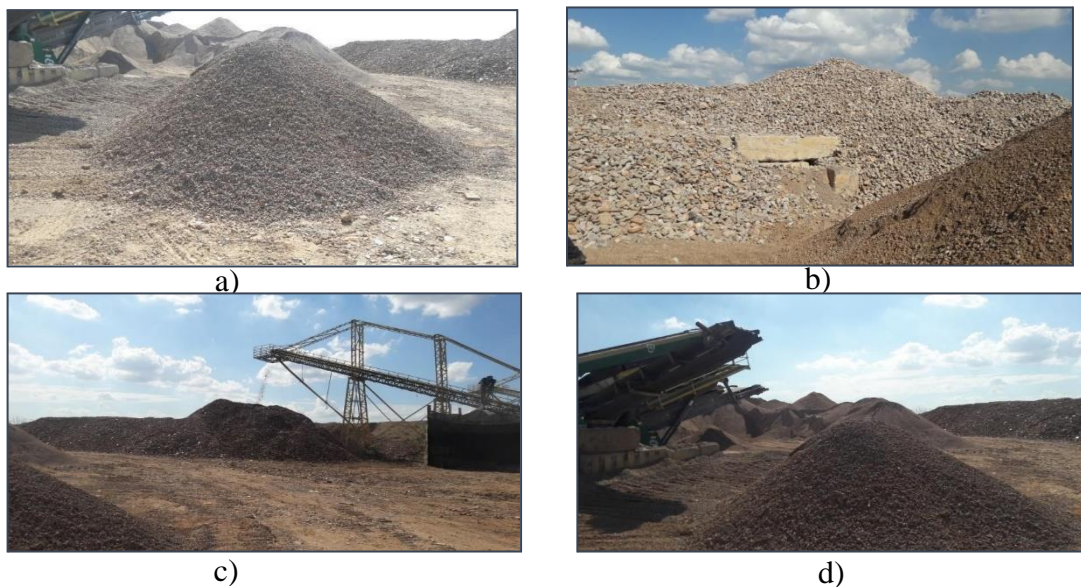
Figura 4 – Usina de Reciclagem de RCD situada no município de Canoas/RS, foco deste estudo.



a) Equipamento de separação e trituração de resíduos; b) Galpão de triagem dos resíduos e separação; c) Pátio da usina, no fundo espaço de triagem dos resíduos d) Galpão de triagem e ao fundo os resíduos triturados. Fonte: Autora (2022).

Após o peneiramento e a classificação com base nas diferentes granulometrias (Figura 5), esses produtos são entregues ao município de Canoas para a utilização em obras como agregados reciclados.

Figura 5 – Agregados Reciclados obtidos na usina de RCD, objetos de estudo.



a) Agregado Reciclado brita 01; b) Agregado Reciclado Rachão; c) Agregado Reciclado Pedrisco ou brita 0; d) Agregado Reciclado pó de pedra. Fonte: Autora (2022).

A seguir, detalham-se as etapas de caracterização dos RCDs que foram estudados (Pó de Pedra, Brita 0 e Brita 1). A caracterização física e química foi executada nos Laboratórios de Materiais e de Química da Unisinos em São Leopoldo. Já as caracterizações morfológicas foram executadas no Centro de Microscopia da PUCRS, enquanto as análises por FRX no Centro Tecnológico da SATC em Santa Catarina.

Foi elaborada uma tabela de nomenclatura dos agregados reciclados a fim de facilitar a identificação, sendo eles indicados na Tabela 5 e utilizados ao longo de todo o trabalho.

Tabela 5 – Nomenclatura dos Agregados Reciclados

NOMENCLATURA DAS SIGLAS	
Agregado	Sigla
Pó de Pedra	RCDPB
Brita 0	RCDB0
Brita 1	RCDB1

Fonte: Autora (2022).

Para a caracterização dos materiais, as amostras foram coletadas nos montes específicos, conforme apresentado na Figura 5. Devido à homogeneidade do material, identificada em inspeção visual, a amostragem foi realizada da seguinte maneira:

- Quarteamento do monte de material;
- Seleção de aproximadamente 5 a 8 kg de cada uma das 4 partes do monte;
- Junção da amostra, totalizando cerca de 30 kg por material.

Este procedimento foi realizado nos meses de julho a novembro de 2021. Os materiais foram levados para laboratório, secados em estufa a uma temperatura de 105 °C +/- 5°C por um período de 48 h, até o início dos testes de caracterização.

4.3.1 Caracterização física dos materiais

Os parâmetros, bem como as normas a serem seguidas para caracterização física dos RCDs gerados, estão detalhados na Tabela 6.

Tabela 6 – Caracterização física a ser aplicada nos RCDs gerados na usina bem como as normas a serem utilizadas

Produto	Parâmetros Físicos	Determinação/Norma
Agregado Graúdo Reciclado de Concreto (AGRC) Agregado Graúdo Reciclado de Cerâmica Vermelha (AGRV)	Forma dos Grãos e Rugosidade Superficial	Visual
	Determinação da composição Granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003a)
	Massa unitária (g/m ³)	NBR NM 45 (ABNT, 2006a)
	Massa Específica Aparente (g/m ³)	NBR NM 53 (ABNT, 2006b)
	Massa Específica do Agregado Saturado com Superfície (g/m ³)	Seca NBR NM 53 (ABNT, 2006b)
	Massa Específica (g/m ³)	NBR NM 53 (ABNT, 2006b)
	Absorção (%)	NBR NM 53 (ABNT, 2006b)
	Perda de Massa por Abrasão (%)	NBR NM 53 (ABNT, 2006b)
	Índice de forma do grão	NBR 7809 (ABNT, 2019)
Agregado Miúdo Reciclado de Concreto (AMRC) Agregado Miúdo Reciclado de Cerâmica Vermelha (AMRV)	Determinação da Composição Granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003a)
	Massa Específica	NBR NM 52 (ABNT, 2003b)
	Massa Específica Aparente	NBR NM 52 (ABNT, 2003b)

Fonte: Autora (2022).

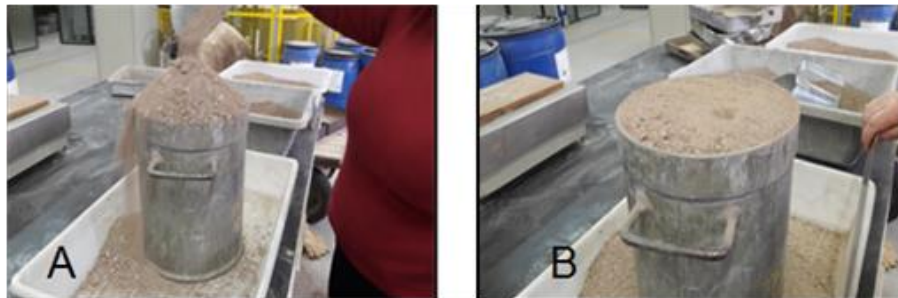
4.3.1.1 Ensaio Granulométrico

Teste granulométrico, conforme a norma ABNT 248, que determina a composição granulométrica do agregado miúdo e graúdo para concreto. Os resíduos foram levados à estufa a 105° C por 24 h. Após, foram retirados da estufa e deixados em temperatura ambiente. Em seguida, os resíduos foram levados para as peneiras onde permaneceram em agitação por 10 min. Ao final do processo, os resíduos foram recolhidos e, então, pesado o que ficou retido em cada peneira. Os dados coletados foram utilizados para confecção dos gráficos e tabelas.

4.3.1.2 Ensaio Massa Unitária

O processo de ensaio se iniciou com a amostra dos agregados reciclados (resíduos) secos contendo no mínimo o dobro de material do que a capacidade do recipiente. O teste foi realizado em triplicata. O primeiro passo do teste foi encher o recipiente com o material a ser avaliado colocando-se no centro (Figura 6) até 1/3 (um terço) do volume e aplicando-se 25 golpes. O segundo passo consistiu em encher mais 2/3 (dois terços) do volume e aplicar mais 25 golpes. A terceira e última etapa consistiu em encher o recipiente até transbordar aplicando-se mais 25 golpes e passando-se a régua, nivelando do centro para a lateral. Após, realizou-se a pesagem e verificou-se o volume. A fórmula para cálculo da massa unitária está descrita na equação 1.

Figura 6 – Ensaio de massa unitária



a) recipiente onde é colocado o agregado; b) o cilindro cheio sendo nivelado com a régua. Fonte: Autora (2022).

Equação 1

$$\mu = \frac{mr+a - mr}{Vr}$$

$$\mu = \frac{18,2 - 6,71}{10,20} = 1,10$$

Onde,

μ = massa unitária do agregado no estado solto (kg/dm³);

$mr+a$ = massa do recipiente + amostra (kg);

mr = massa do recipiente (kg);

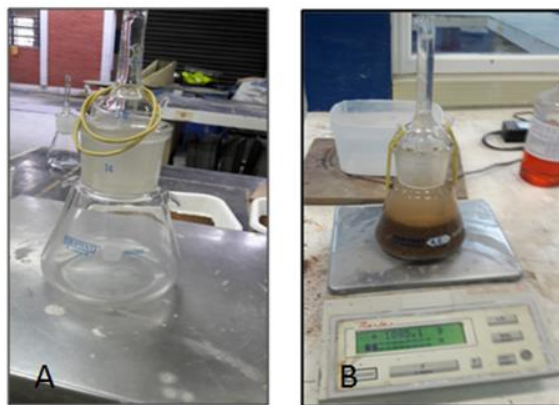
Vr = volume do recipiente (dm³).

4.3.1.3 Ensaio de Massa Específica Agregado Miúdo

A amostra foi coletada conforme a NM 26 e reduzida conforme a NM 27 antes da realização do ensaio. Constituído por 1 kg de amostra (agregado miúdo) para realização de duas amostragens de 500 g cada. Essa massa foi colocada em um recipiente e coberta com água, permanecendo em repouso por 24 h. Após, retirou-se a amostra da água e colocou-se em uma superfície plana submetendo-a a uma corrente de ar e espalhando-a para a secagem ficar uniforme e os grãos não fiquem aglutinados entre si. O próximo passo consistiu em colocar a amostra no molde (cone), sem comprimi-la, e aplicar 25 golpes de haste do socamento. Posteriormente, levantou-se o molde verticalmente fazendo com que o agregado desmoronasse ao ser retirado, chegando à condição de saturado, superfície seca.

Após o registro da massa do conjunto, a amostra foi transferida para o picnômetro (Figura 7) e este foi preenchido com água até a proximidade da marca de 500 ml. Eliminaram-se as bolhas de ar movimentando o frasco e, após, colocou-se de molho à temperatura ambiente por 1 h. Em seguida, retirou-se da água realizando a pesagem do conjunto. Por fim, despejou-se a massa de amostra contida no frasco em uma forma e levou-se para a estufa para secagem com posterior pesagem.

Figura 7 – Vidraria utilizada para o teste de massa específica (Picnômetro)



a) aparelho pesado vazio; b) aparelho com material pesado. Fonte: Autora (2022).

A massa específica aparente inclui os dois procedimentos em uma temperatura determinada embaixo da água. Após esses procedimentos, a amostra foi levada para a estufa a uma temperatura de 100 °C. Após resfriamento, a amostra passa pela pesagem e o cálculo é realizado. O resultado obtido com a aplicação desse procedimento é o valor da massa do volume

sem os poros internos das partículas, conforme a NM 52. Para efeito de cálculo da massa específica, aplicam-se as fórmulas abaixo, de acordo com a NM 52 (equação 2).

Equação 2

$d_1 = \frac{m}{V - V_a} =$	$V_a = \frac{m_2 - m_1}{P_a}$	$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} =$	$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{P_a}} =$
-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---

Onde,

d_1 = é a massa específica aparente do agregado seco (g/cm^{-3});

d_2 = é a massa específica aparente do agregado saturado superfície seca (g/cm^{-3});

m = é a massa da amostra seca;

V = é o volume do frasco (cm^{-3});

m_1 = é a massa do conjunto (frasco + agregado);

m_2 = é a massa total (frasco + agregado + água);

P_a = é a massa específica da água (cm^{-3});

d_3 = é a massa específica do agregado (g/cm^{-3}).

m_s = é a massa da amostra na condição saturada, superfície seca.

V_a = é o volume de água adicionado ao frasco.

4.3.1.4 Ensaio de Massa Específica Agregado Graúdo

As amostras são coletadas conforme a NM 26 e reduzidas conforme a NM 27. Ao se tratar de agregado graúdo, a quantidade a ser utilizada é baseada na Tabela 1 da ABNT NM 248. A norma estabelece a quantidade conforme a quantidade retida nas peneiras de 19 mm (3 kg), ou 12 mm (2 kg). O procedimento é iniciado com a pesagem do agregado e posterior transferência para um recipiente, cobrindo-o com água até a cobertura total. A amostra permanece neste estado por 24 h. Após este período, a água é removida e a amostra pesada e transferida para um recipiente vazado onde, então, é submersa em água a uma temperatura de 23 ± 2 °C. A pesagem é realizada em água com precisão de 1 g. Por último, coloca-se a amostra na estufa para secagem por um período de 24 h em temperatura de 100 ± 5 °C e, após resfriamento, realiza-se a pesagem.

4.3.2 Caracterização química, morfológica e ambiental dos materiais

4.3.2.1 FRX, MEV-EDS

A composição química dos RCDs foi realizada por meio da técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX) no laboratório da Unisinos utilizando-se um equipamento Shimadzu modelo EDX 720 e na Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC) utilizando-se um equipamento da Marca Shimadzu, modelo EDX 7000, com tubo de 3 kW e alvo de ródio. As amostras, após moagem, foram passadas em peneira granulométrica de 250 μm e as análises realizadas diretamente no pó.

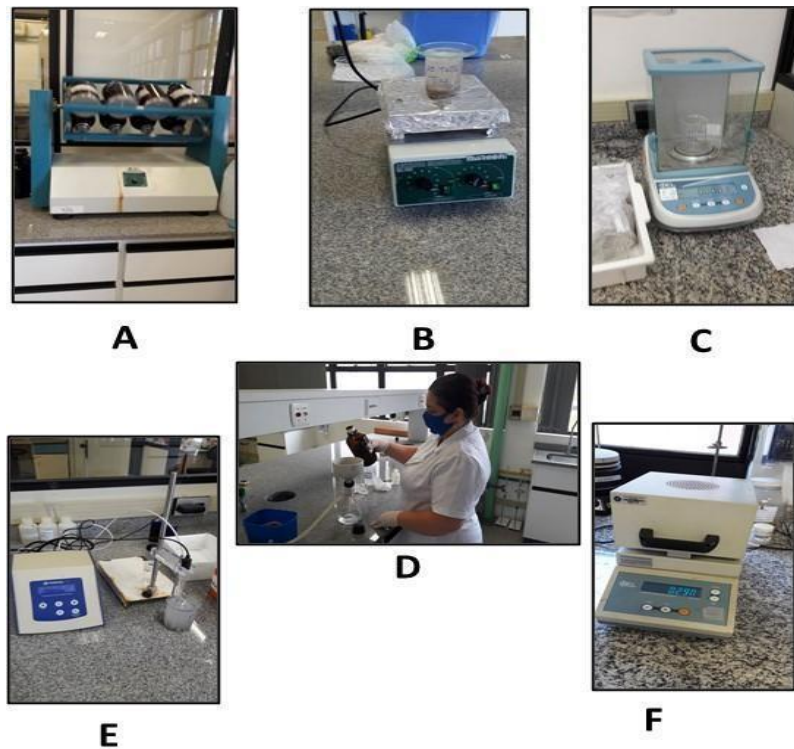
A análise morfológica dos RCDs foi feita no Centro de Microscopia e Microanálise da PUCRS (LabCEMM) por meio da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV acoplado a um sistema de Dispersão em Energia – EDS. Para tanto, foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) XL 30 Philips com sistema EDS acoplado. O sistema EDS acoplado ao Microscópio Eletrônico de Varredura fornece uma análise semi-quantitativa dos elementos químicos presentes na amostra. Para a preparação da amostra o pó, na granulometria de 200 μm , foi depositado nos porta-amostras (stubs) sob fita de carbono, acondicionados sob vácuo, fixados sobre suporte metálico e, posteriormente, submetidos ao processo de metalização com Au a fim de aumentar a condução elétrica.

4.3.2.2 Ensaio de Lixiviação

O teste de lixiviação tomou como base a ABNT NBR 10005. Na primeira etapa ocorreu a redução de tamanho das amostras com o auxílio de formão e martelo. Em um segundo momento, essas amostras foram moídas com auxílio de almofariz e pistilo e, então, passadas em peneira granulométrica com abertura de malha $\leq 9,5$ mm. A terceira etapa envolveu a definição da solução extratora por meio da medida do pH de uma mistura contendo 5 g de amostra e 96,5 mL de água deionizada, que foi antes agitada por um período de 5 minutos. A solução extratora utilizada, definida com base no valor do pH medido ($\leq 5,0$), foi então preparada nesta quarta etapa de trabalho adicionando-se 5,7 mL de ácido acético glacial, 64,3 mL de hidróxido de sódio 1,0 mol L e água deionizada até completar o volume a 1 L (pH da solução de extração = $4,93 \pm 0,05$). A quinta etapa envolveu a pesagem de uma massa de amostra 20 vezes menor que o volume de solução extratora. Em seguida, a amostra e solução extratora foram transferidas para frascos de borossilicato e então postas para agitar em agitador

tipo Wagner a 30 rpm, por um período de 18 ± 2 horas. Após este período, na última etapa, as amostras foram submetidas à filtração a vácuo (membranas de fibra de vidro isentas de resinas e com porosidade de 0,6 a 0,8 μm). Antes de cada filtração, as membranas foram lavadas com ácido nítrico (HNO_3) 0,5 M. A conservação dos extratos foi feita ajustando-se os extratos para $\text{pH} < 2$ com HNO_3 concentrado. A Figura 8 demonstra algumas etapas envolvidas no teste de lixiviação e as Tabelas 7 e 8 trazem os registros de pH e massas obtidas com a aplicação do referido teste.

Figura 8 – Etapas do teste de lixiviação segundo NBR 10005



a) agitador Wagner; b) amostra sob agitação magnética; c) pesagem; d) filtração a vácuo; e) medição do pH e temperatura; f) determinação da umidade. Fonte: Autora (2022).

Tabela 7 – Dados de pH e massas obtidas na aplicação do teste de lixiviação, NBR 10005

AMOSTRAS 1° TESTE (da primeira concretagem)			
AMOSTRA		PESO g	
T 1 - Traço referência		25,13 g	
T 2 - traço pó de pedra		25,21 g	
T 3 - traço brita 1		25,08 g	
T 4 - traço brita 0		25,14 g	
AMOSTRAS 2° TESTE (segunda concretagem)			
AMOSTRA		PESO g	
T 1		25,33	
T 2		25,05	
AMOSTRAS 1° TESTE (definição da solução extratora)			
MATERIAL	PESO g	PH	TEMPERATURA
T 1	5,0008	11,73	23,1
T 2	5,0347	11,17	23,1
T 3	5,0182	11,51	23,1
T 4	5,0746	11,63	23,1
AMOSTRAS 2° TESTE			
MATERIAL	PESO g	PH	TEMPERATURA
T 1	5,0283	12,41	23,3
T 2	5,0096	11,93	23,7
AMOSTRAS 1° TESTE			
MATERIAL	PESO g	TEMPERATURA	
T 1	0,8	23,9	
T 2	0,89	24,1	
T 3	0,88	24,2	
T 4	0,77	23,6	
AMOSTRAS 2° TESTE			
MATERIAL	PESO g	TEMPERATURA	
T 1	0,57	23,2	
T 2	1,02	23,6	

Fonte: Autora (2022).

Tabela 8 – Dados de umidade e pH obtidas na aplicação do teste de lixiviação, NBR 10005

TESTE DE LIXIVIAÇÃO	
Equipamento determinador da umidade*	
Amostra 1 = T2 2º Teste %U= 1,07	
Amostra 2 = T2 1º Teste %U= 1,12	
Amostra 3 = T3 1º Teste %U= 0,65	
Amostra 4 = T4 1º Teste %U= 1,10	
Amostra 5 = T1 1º Teste %U= 0,92	
Amostra 6 = T3 1º Teste %U= 1,09	
AMOSTRAS LIXIVIADA 1º TESTE (corpo de prova)	
TIPO	pH
Branco	4,96
T 1	5,64
T 2	10,69
T 3	10,04
T 4	11,23
AMOSTRAS LIXIVIADA 2º TESTE (corpo de prova)	
T 1	12,25
T 2	11,78

* para cálculo da massa seca no teste de lixiviação. Fonte: Autora (2022).

4.3.2.3 Ensaio de Solubilização

O teste de solubilização foi feito segundo a ABNT NBR 10006. Primeiramente, as amostras de resíduos (passadas em peneira com abertura de malha $\leq 9,5$ mm de diâmetro) foram secadas em estufa (circulação forçada de ar e exaustão) a uma temperatura de 42^o C. Em seguida, 250 g de amostra (base seca) foi transferida para frasco de 1,5 L, onde, então, foi adicionado 1 L de água deionizada. Após, a mistura foi agitada em velocidade baixa por um período de 5 minutos e, após, o frasco vedado com filme de PVC. Posteriormente, a mistura foi deixada em repouso por 7 dias em temperatura de até 25^o C. Após este período, a solução foi filtrada a vácuo usando membrana de fibra de vidro isenta de resina, com porosidade de 0,6 a 0,8 μ m.

4.4 ETAPAS 3 E 4: CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E BLOCOS DE CONCRETO

Para confecção dos corpos de prova foram utilizados os seguintes materiais comerciais para o teste referência: cimento CP IV Z-32 e CP V- ARI, agregados miúdos (areia de quartzo

média e fina), agregados graúdos (brita de granulometria na faixa de 4,75 - 12,5 mm e de 9,5 – 25 mm).

Já para os testes, substituindo-se o agregado natural por RCD, foram utilizados os resíduos trazidos da usina SBR. A seguir, apresenta-se a caracterização de cada um desses produtos que integrarão os corpos de prova e blocos.

4.4.1 Caracterização dos materiais para confecção dos corpos de prova e blocos

4.4.1.1 Cimento

O cimento utilizado na confecção dos primeiros corpos de provas e blocos foi o CP IV Z-32 NBR 5736, cuja composição é de 15% a 50% de material pozolânico. Essa composição proporciona estabilidade no uso com agregados reativos em ambientes de ataque ácidos e sulfatos. Possui baixo calor de hidratação, o que o torna bastante recomendável na concretagem de grandes volumes e sob temperaturas elevadas, pouco poroso, sendo resistente à ação da água do mar e de esgotos. No segundo teste (confecção dos segundos corpos de prova e blocos), foi usado o cimento CP V- ARI de alto calor de hidratação, tendo uma pega mais rápida (ABCP, 2010). A Tabela 9 traz os tipos de cimento utilizados.

Tabela 9 – Características dos diferentes tipos de Cimento Portland

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória Siderúrgica (%)	Material Pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	comum	100	-	-	-
CP I s	comum	95 – 99	1- 5	1- 5	1-5
CP II E	composto	56 - 94	6-34		
CP II Z	Composto	76 - 94	-	-	-
CP II F	Composto	90 - 94	-		
CP III	Alto- Forno	25 - 65	35- 70		0 - 5
CP IV Z	Pozolânico	45- 85		15- 50	0-5
CP V- ARI	Alta resistência inicial	95- 100	-	-	0-5

Fonte: Elaborada pela autora com base em ABCP (2010).

Após cálculo de dosagem, o cimento foi levado para a amassadeira para ser misturado com os demais integrantes da pasta. Em seguida, foi realizado o ensaio do *Slump* teste para medir a trabalhabilidade do concreto. Ao colocar no cone de abatimento, a pasta é dividida em

1/3 (um terço) e a cada preenchimento no cone são aplicados 25 golpes. No final, retira-se o cone, vira-se e coloca-se a haste do vergalhão e faz-se a medida em relação à cedência.

4.4.1.2 Agregado Graúdo

Como agregado graúdo foi empregado brita de basalto nas faixas de 4,75 – 12,5 mm e de 9,5 – 25 mm e os RCDs vindos da usina, ou seja, a Brita 0 e a Brita 1. Os ensaios de granulometria foram realizados também conforme a NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003a,b) e de sua massa específica, conforme consta na NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2006b).

4.4.1.3 Agregado Miúdo

O agregado miúdo (areia) foi caracterizado conforme a NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003a) e sua massa específica, conforme consta na NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e da massa específica aparente (ABNT, 2003b).

4.4.1.4 Água de amassamento

A água utilizada na preparação do concreto foi água oriunda da rede pública de abastecimento do Serviço Municipal de Água e Esgotos (SEMAE) da cidade de São Leopoldo. Atende, desta forma, a ABNT NBR 15900-1:2009 - Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos (ABNT, 2009).

4.4.2 Caracterização mecânica dos corpos de prova

4.4.2.1 Mistura

Utilizando como referência a necessidade de uma resistência à compressão para pavimentação igual a 35 Mpa, conforme NBR 9781 (ABNT, 2013), foi adotado o traço utilizado por Silva (2021) em sua dissertação de mestrado, apenas considerando a incorporação de RCD. Assim, a composição da pasta foi baseada em quatro diferentes traços com base na NBR 12655

(ABNT, 2014). Para obtenção de um melhor resultado de compressão para atender à norma 9781 (ABNT, 2013), uma das dosagens usadas foi uma de referência e, as demais, substituindo os agregados naturais pelos reciclados. Os cálculos foram com base na norma e o fator água/cimento utilizado com base na tabela de Abrams (UGIONI, 2017). A Tabela 10 apresenta os traços utilizados no primeiro teste.

Tabela 10 – Dosagem do concreto - Primeiros traços

Concreto 35MPa	Cimento (kg)	Areia Natural (kg)	Pó de pedra (kg)	Brita Natural (1, 0) (kg)	Brita Reciclada (kg)	a/c ^a (L)	Aditivo (%)	Abat ^b
Amostra T1 Referência	6	20		20 (B1)		3750	102,8	10
Amostra T2 Pó de pedra	6		20	20 (B0)		5650	102,8	4,5
Amostra T3 Brita 1	6	20			20	5650	51,2	5
Amostra T4 Brita 0	6	20		20		5650	51,2	5

^aa/c - fator água/cimento; ^bAbat - Abatimento de tronco - Slump. Fonte: Autora (2022).

Inicialmente, foram realizados quatro traços, sendo o T1 o traço referência que serve como parâmetro para os demais. O traço 2 - T2 refere-se à substituição da areia natural pelo pó de pedra. O traço 3 - T3 faz referência à substituição da brita 1 natural pela brita 1 reciclada e no traço 4 - T4 ocorreu a substituição da brita 0 natural pela brita 0 reciclada. Foi realizado o cálculo dos materiais com base nas normas NBR 12655 (ABNT, 2014). O fator água/cimento foi de 0,50 e o abatimento de ± 10 mm com desvio padrão pré-determinado usando a Equação 3 a seguir.

Equação 3

$$F_{c28} = f_{ck} + 1,65 + S_d$$

Onde: Condições desejadas no estado fresco, resistência de dosagem do concreto.

$$F_{c28} = 35 \text{ Mpa}$$

$$F_{ck} = 35 \text{ Mpa}$$

$$S_d = \text{desvio padrão} = 5$$

O segundo teste foi realizado com apenas dois traços, sendo o traço 1 - T1 o traço referência. O traço 2 - T2 foi feito substituindo-se 100% da areia natural pelo Pó de Pedra. O cimento usado foi o CP V 32, a brita foi a brita 0, e o aditivo Tecle Clou 8000.

A escolha do traço T2 na segunda amostragem baseou-se nos resultados de resistência mecânica à compressão apresentados no primeiro teste. Neste teste, o RCD pó de pedra foi quem apresentou o melhor valor de resistência. O cálculo dos materiais foi feito com base na ABNT NBR 12655/2014. O fator água/cimento foi de 0,50 e o abatimento de ± 10 mm com desvio padrão pré-determinado, utilizando a Equação 3 anteriormente apresentada. A Tabela 11 apresenta as características dos materiais utilizados.

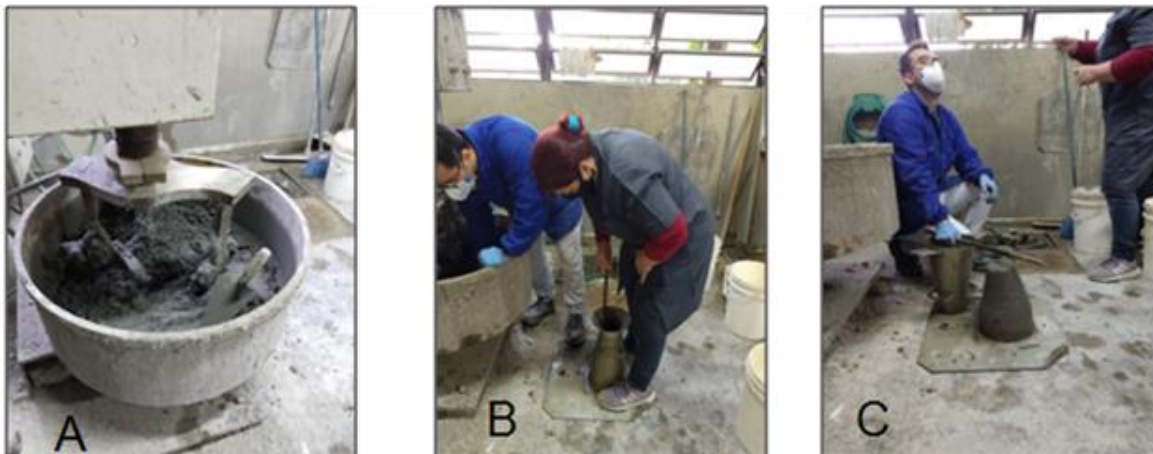
Tabela 11 – Segunda Amostra da Dosagem do concreto

Concreto Mpa	Cimento (kg)	Pó de Pedra (kg)	Brita 0 (kg)	a/c ^a (L)	Aditivo (g)	Abat. ^b
Amostra T 1 Referência	3333	10	10	1600	6,66	20
Amostra T 2 Pó de Pedra	3333	10	10	1600	6,66	10

^aa/c - fator água/cimento; ^bAbat - Abatimento de tronco - Slump. Fonte: Autora (2022).

O concreto dosado foi levado à amassadeira (Figura 9A) para ser misturado. Após, foi realizado o ensaio do *slump* teste para medir a sua trabalhabilidade. Ao colocar o material no *slump* teste (Figura 9B), a pasta foi dividida em 1/3 (um terço) e a cada preenchimento no cone foram aplicados 25 golpes. No final, retirou-se o cone, virou-se e colocou-se a haste do vergalhão e fez-se, então, a medida de quanto cedeu (Figura 9C).

Figura 9 – Imagens demonstrativas do processo de produção dos corpos de prova



a) concreto na amassadeira; b) teste de trabalhabilidade com *slump* test c) medida da trabalhabilidade do concreto. Fonte: Autora (2022).

4.4.2.2 Trabalhabilidade

Posterior à homogeneização do concreto, foi realizada a determinação da consistência do concreto em estado fresco em conformidade com a NBR 16889 – Concreto – Determinação da consistência pelo *slump* teste (ABNT, 2020). Já os ensaios de abatimento e classificação foram realizados com base na ABNT NBR 7212:2012 - Execução de concreto dosado em central — Procedimento (ABNT, 2012).

4.4.2.3 Moldagem

A moldagem dos Corpos de Prova de Concreto foi realizada conforme os requisitos da NBR 5738 (ABNT, 2015). O material foi retirado da betoneira e colocado nas formas (100 mm de diâmetro x 200 mm de altura) realizando-se duas camadas com a aplicação de 12 golpes cada. Após o preenchimento completo dos moldes foi realizado o arrasamento.

Para os corpos de prova para pavimentação, utilizou-se uma fôrma plástica seguindo a norma NBR 9781 (ABNT, 2013). A moldagem das formas foi realizada retirando-se o material da betoneira e colocando-o nas formas (240 x 100 x 60 mm). Após, foi realizado o arrasamento em uma camada com aplicação de 12 golpes.

4.4.2.4 Cura

A cura dos corpos de prova seguiu as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 1994). Os corpos de prova, após desinformados, foram levados à câmara úmida por 14 e 28 dias.

4.4.3 Caracterização química, morfológica e ambiental dos corpos de prova

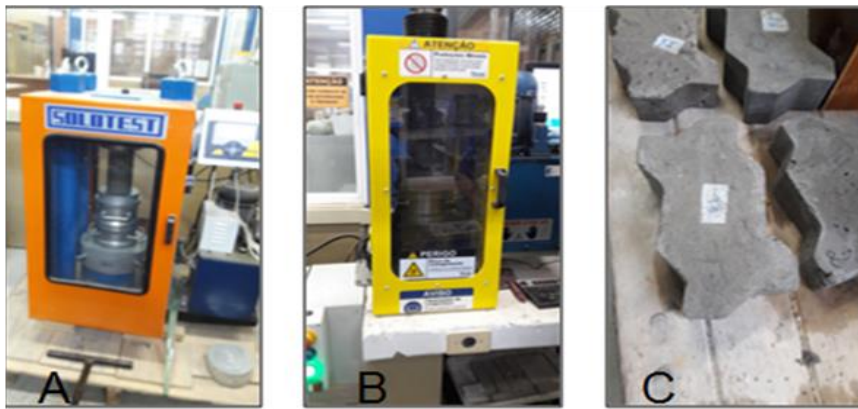
Para esta caracterização, a metodologia seguiu a descrição do item 4.3.2 apresentado anteriormente neste capítulo. Após o rompimento dos corpos de prova, estes foram reduzidos a pedaços menores, submetidos ao peneiramento e moagem para as análises de FRX e MEV. Foram avaliados os corpos de prova T1, T2, T3, T4 e os agregados reciclados individuais.

4.4.4 Ensaios de resistência à compressão axial

Para avaliação da resistência dos corpos de prova, foram feitos ensaios de resistência à compressão e tração aos 14 e 28 dias de cura, conforme determinação da NBR 5739 (ABNT,

1994). No total, foram moldados 9 CPs para o traço referência, 9 para traço 1 (T1), 9 para o traço 2 (T2) e 9 para o traço 3 (T3). Após passar pela câmara úmida, foram retirados e levados para retificação. Para os blocos também foram realizados os testes de resistência à compressão e tração. Além disso, os blocos também foram submetidos ao teste de abrasão, que consistiu em avaliar o desgaste do corpo de prova ou produto em relação à massa pelo atrito sofrido. A norma NM 51 especifica em sua Tabela 2 a fração de perda + ou - 25 mm. As Figuras 10A e 10B mostram os corpos de prova e blocos sendo avaliados nos testes de compressão e tração, respectivamente.

Figura 10 – Equipamento para Ensaio de Compressão e Tração



a) Ensaio de Compressão; b) Ensaio de Tração; c) Bloco submetido aos testes. Fonte: Autora (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo a seguir apresenta e discute os resultados obtidos com a pesquisa. Primeiramente, são avaliados os dados coletados de geração e classificação dos RCDs recebidos pela Usina (Estudo de Caso). Na sequência, são discutidos os resultados obtidos das caracterizações físicas e químicas dos RCDs com potencial de serem utilizados na pavimentação. Posteriormente, fez-se uma avaliação da resistência mecânica e características químicas dos corpos de prova gerados a partir da incorporação dos RCDs estudados. Por fim, uma discussão sobre a possibilidade e forma de aplicação dos RCDs como agregados em pavimentos utilizados em calçamentos.

5.1 GERAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RCDs RECEBIDOS PELA USINA

A usina recebe diariamente diversos tipos de resíduos, os quais são classificados e separados. Os resíduos de RCD se dividem em misto e entulho limpo, sendo segregados e triturados para formar o produto final que são os agregados. A classificação está especificada na Tabela 12.

Tabela 12 – Classificação dos RCDs conforme usina Estudo de Caso

Mês	Quantidade (m ³)	Resíduo recebido
Julho	21604	Misto
Julho	1081	Entulho Limpo
Agosto	46815	Misto
Agosto	1.121	Entulho Limpo
Setembro	82243	Misto
Setembro	13799	Entulho Limpo
Outubro	11143	Misto
Outubro	1100	Entulho Limpo
Novembro	1191	Misto
Novembro	6524	Entulho Limpo
Dezembro	6823	Misto
Dezembro	1068	Entulho Limpo

Fonte: Autora (2022).

Fazendo uso da literatura como base, os RCDs recebidos foram classificados conforme os requisitos da Resolução 307 (BRASIL, 2002). Para coleta desses dados foram utilizadas as informações constantes na Tabela 12. Destaca-se que a classificação aqui proposta foi apenas qualitativa, ou seja, fez-se uma avaliação visual dos resíduos e classificou-se conforme a legislação. Não foram realizadas, para esta etapa da pesquisa, nenhuma análise química de lixiviação e/ou solubilização da NBR 10004/04.

Tabela 13 – Classificação dos RCDs da usina Estudo de Caso com base na resolução CONAMA 307

Mês	Quantidade (m ³)	Classificação CONAMA 307	Especificação RCD
Julho	22685	Classe A	Rachão, Brita 1, Brita 0, Pó de pedra
Agosto	47936	Classe A	Rachão, Brita 1, Brita 0, Pó de pedra
Setembro	96042	Classe A	Rachão, Brita 1, Brita 0, Pó de pedra
Outubro	12243	Classe A	Rachão, Brita 1, Brita 0, Pó de pedra
Novembro	7715	Classe A	Rachão, Brita 1, Brita 0, Pó de pedra
Dezembro	7891	Classe A	Rachão, Brita 1, Brita 0, Pó de pedra

Fonte: Autora (2022).

Por fim, a quantidade e tipo de produtos comercializados pela empresa foram determinados por meio de dados secundários constantes na Tabela 14. Esses dados referem-se aos resíduos comercializados pela usina SBR a partir do processo de segregação, peneira rotatória e britador, dando origem aos produtos comercializados por ela.

Tabela 14 – Comercialização dos produtos reciclados na usina Estudo de Caso

Tipo de Produto Comercializado	Volume (m ³)	Geração Mensal em (m ³)	Preço/m ³ (R\$)	Valor (R\$)
Solo-brita	30%	4920	25,00	123.000,00
Pedra-2	30%	4920	32,00	157.440,00
Rejeitos + Recicláveis	10%	1640		
Britáveis	30%	4920		157.932,00
Britador	100%	16.400		438.372,00
Pó de Pedra	10%	492	33,00	16.236,00
Pedrisco (Brita 0)	10%	492	32,00	15.744,00
Pedra-1 (Brita 1)	20%	984	32,00	31.488,00
Rachão	60%	2952	32,00	94.464,00
Total	100%	4920		157.932,00

Fonte: Autora (2022).

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PRODUTOS NATURAIS E DOS PRODUTOS GERADOS A PARTIR DO RCD

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados das caracterizações físicas e químicas dos produtos naturais (areia e brita) utilizados na mistura e dos RCDs estudados por este trabalho, ou seja, RCDPB, RCDB0, RCDB1.

Todos os parâmetros avaliados foram baseados nas normas da ABNT. O monitoramento ocorreu entre os meses de julho e novembro de 2021, conforme descrito na metodologia.

5.2.1 Análise granulométrica dos materiais naturais (areia e brita)

O objetivo de avaliar a distribuição granulométrica é porque este parâmetro influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto fresco. A alta porcentagem de material fino (diâmetro menor que 0,15 mm) exige aumento de água de amassamento e, conseqüentemente, o aumento da quantidade de cimento para o mesmo fator água cimento. O material pulverulento afeta a aderência entre a pasta e o agregado de maior tamanho, sendo que, quanto menor o módulo de finura, mais água será necessária [SILVA, 201-?].

A Tabela 15 apresenta os dados para o módulo de finura da areia natural nas diferentes granulometrias com a indicação dos usos específicos. Conforme SILVA, [201-?] o módulo de finura não é o tamanho específico do agregado, mas é uma representação dos finos do agregado, que se classifica em zona ótima, zona utilizável e zona utilizável superior. Neste sentido, salienta-se que:

- o módulo de finura da zona ótima varia de 2,2 a 2,9;
- o módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,2 e,
- o módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,9 a 3,5.

Tabela 15 – Módulo de finura do agregado miúdo - areia natural

MÓDULO DE FINURA DO AGREGADO MIÚDO		
TIPO	MÓDULO DE FINURA	UTILIZAÇÃO
AREIA GROSSA	$MF^a \geq 3,3$	Concreto, Chapisco
AREIA MÉDIA	$2,4 \leq MF \leq 3,3$	Concreto, Emboço
AREIA FINA	$MF \leq 2,4$	Reboco

^aMF – Modo de Finura. Fonte: Adaptação de SILVA [201-?].

Os ensaios granulométricos dos agregados naturais servem de parâmetro para os reciclados, portanto, a seguir, na Tabela 16, são apresentados os resultados obtidos no teste granulométrico para os agregados naturais (areia média, brita 1 e brita 0).

Tabela 16 – Teste granulométrico dos agregados graúdos – areia média, brita 1 e brita 0

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO AREIA MÉDIA								
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série interm.	1ª Amostra	2ª Amostra	1ª Amostra	2ª Amostra			
76								
	64							
	50							
38								
	32							
	25							
19		0	0	0	0			
	12,5	131,7	128,9	6,65	6,54	0,11	6,60	6,60
9,5		293,7	289,2	14,83	14,6	0,23	14,72	21,32
	6,3	880,7	780,6	44,48	39,61	4,87	41,90	63,22
4,8		565,2	662,0	28,54	33,6	5,06	31,07	94,29
2,4		60,2	62,91	3,04	3,19	0,15	3,16	97,45
1,2								
0,6								
0,3								
0,15								
FUNDO		48,70	46,79	0	0	0	0	0
TOTAL		1980,2	1970,4				DM ^a = 9,5	MF ^b =2,13

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO BRITA 1								
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série interm.	1ª Amostra	2ª Amostra	1ª Amostra	2ª Amostra			
76								
	64							
	50							
38								
	32							
	25							
19		98	95	5,0	4,80	0,2	4,90	4,90
	12,5	954,7	972,9	48,72	49,14	0,42	48,93	53,83
9,5		493,7	509,2	25,20	25,72	0,52	25,46	79,29
	6,3	350,7	335,6	17,90	16,95	0,95	17,43	96,72
4,8		60,2	62,0	3,07	3,13	0,06	3,10	99,82
2,4		65,2	62,3	3,33	3,15	0,18	3,24	103,06
1,2		35,0	38	1,79	1,92	0,13	1,86	104,92
0,6								
0,3								
0,15								
FUNDO		0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		1959,5	1980,0				DM= 12,5	MF=3,92

(continua)

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO BRITA 0

continuação...

peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série interm.	1º Amostra	2º Amostra	1º Amostra	2º Amostra			
76	64							
	50							
38	32							
	25							
19	12,5	0	0	0	0			
9,5	6,3							
4,8		3,3	2,3	1,1	0,8	0,3	0,9	0,9
2,4		14,0	13,3	4,7	4,4	0,3	4,6	5,5
1,2		15,4	18,7	5,1	6,2	1,1	5,7	11,2
0,6		29,2	30,7	9,7	10,2	0,5	10,0	21,2
0,3		70,4	71,6	23,5	23,9	0,4	23,7	44,9
0,15		88,7	89,3	29,6	29,8	0,2	29,7	74,6
FUNDO		78,5	74,1	26,2	24,7	1,5	25,4	100,00
TOTAL		299,7	300,0				DMAX= 4,8	MF=1,58

^aDM – Diâmetro Máximo; ^bMF – Módulo de Finura. Fonte: Autora (2022).

As análises realizadas acima foram testadas no laboratório a fim de comparação com os testes realizados com os agregados reciclados. Foram estabelecidos padrões conforme a norma NM 248 em conformidade com a NBR 7211 (ABNT, 2005), o que se encontra na classificação de zona utilizável inferior, conforme será descrito pela Tabela 17.

5.2.2 Análise granulométrica – RCDPB

O teste se iniciou com encaixe das peneiras limpas formando um único conjunto de peneiras. Conforme previsto na norma NM 248, a quantidade de material mínimo é de 300 g, mas para esse material foi usada uma amostragem de 350 g devido ao tamanho do picnômetro (aparelho para ensaio). Os resultados da análise granulométrica do RCD Pó de Pedra para todos os resíduos coletados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Teste Granulométrico do RCD - Pó de Pedra nas coletas realizadas na usina ao longo de 2021

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA AGREGADO MIÚDO PB (09/07/2021)							
Peneira série normal	Massa retida (g)		Massa retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulada % 1ª amostra
	1ª amostra	2ª amostra	1ª amostra	2ª amostra			
4,8	7,7	10,7	2,2	3,1	-0,9	4	4
2,4	21,8	20,6	6,2	5,9	0,3	6,2	10,2
1,2	32,8	34,7	9,4	9,9	-0,5	9,4	19,6
0,6	74,8	65,7	21,4	18,8	2,6	21,4	41
0,3	120,4	110,2	34,5	31,5	3	34,5	75,5
0,15	66,3	76,6	18,9	21,9	-3	18,9	94,4
FUNDO	25,4	30,8	7,3	8,8	-1,5	7,3	101,7
TOTAL	349,2	349,3				DMAX ^a . 4,8	MF ^b = 244,7/100 = 2,4
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA AGREGADO MIÚDO PB (10/08/2021)							
Peneira série normal	Massa retida (g)		Massa retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulada % 1ª amostra
	1ª amostra	2ª amostra	1ª amostra	2ª amostra			
4,8	3,5	8,7	1	2,4	1,4	1,7	1,7
2,4	23,5	30,2	6,7	8,6	1,9	7,7	9,4
1,2	41,5	45,3	11,7	12,9	1,2	12,3	21,7
0,6	75,4	76,0	21,5	21,7	0,2	21,6	43,3
0,3	111,1	102,1	31,7	29,1	2,6	30,4	73,7
0,15	55	52,6	15,7	15	0,7	15,3	89
FUNDO	40,0	34,8	11,4	9,9	1,5	10,6	99,6
TOTAL	349,6	349,7				DM 4,8	MF 2,4
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO PB (27/09/2021)							
Peneira série normal	Massa retida (g)		Massa retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulada % 1ª amostra
	1ª amostra	2ª amostra	1ª amostra	2ª amostra			
4,8	19,7	17,8	6,3	5,91	0,4	6,1	6,1
2,4	75,4	60,3	24	20	4	22	28,1
1,2	60,4	56,9	19,3	18,9	0,4	19,1	47,2
0,6	53	56,3	16,9	18,7	1,8	17,8	65
0,3	57,9	61,8	18,5	20,5	2	19,5	84,5
0,15	30,2	31,6	9,6	10,5	0,9	10	94,4
FUNDO	16,6	16,1	5,3	5,4	0,1	5,4	99,9
TOTAL	313,2	300,8				DMAX. MF 325,4/100 = 4,8	3,3

(continua)

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO PB (08/11/2021)							
Peneira série normal	Massa retida (g)		Massa retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulada %
	1ª amostra	2ª amostra	1ª amostra	2ª amostra			
4,8	15,5	15,8	4,4	4,5	0,1	4,5	4,5
2,4	60,2	71	17,3	20,3	3	18,8	23,3
1,2	60,8	57,2	17,5	16,4	2,8	16,9	40,2
0,6	57,4	54,1	16,5	15,5	1	16	56,2
0,3	73	71,2	20,9	20,4	0,5	20,6	76,8
0,15	51	49,1	14,6	14	0,6	14,3	91,1
FUNDO	31	31,1	8,8	8,9	0,1	8,9	100
TOTAL	348,9	349,5				DMAX. 4,8	MF 292,1/100 = 2,9

^aDMAX - Diâmetro Máximo, ^bMF - Módulo de Finura. Fonte: Produzido pela autora com base no gráfico das caracterizações conforme NM 248. (2003).

Ao se avaliar os dados para o pó de pedra constantes na Tabela 17, nota-se que os ensaios apresentaram uma variação granulométrica quando comparados com os agregados naturais. A areia natural apresenta um índice de finura (MF) de 1,58 mm e o agregado reciclado pó de pedra possui um índice médio (MF) de 2,75 mm. Este índice classifica o pó de pedra como sendo uma areia média (Tabela 15). Esse agregado apresenta um índice de finos classificando-se dentro da zona ótima, apresentando-se como um material pulverulento, o que condiciona o aumento de água na pasta do concreto (UGIONI, 2017). Neste sentido, para o pó de pedra, conclui-se que, para a granulometria e modo de finura, embora haja semelhanças e homogeneidade entre os RCDs gerados pela usina, uma comparação com agregado natural mostrou diferenças de classificação. Este resultado é similar ao encontrado nos estudos de Ugioni (2017).

5.2.3 Análise granulométrica – RCDB0

A caracterização segue conforme a norma ABNT NM 248, a qual atende o limite indicado para agregado graúdo, em que uma amostra representativa da coleta de cada lote deve estar de acordo com a norma para atender os limites previstos para o agregado graúdo. O processo de coleta seguiu o procedimento descrito no item 5.2. O ensaio granulométrico no período de estudo para a Brita 0 (zero) está descrito na Tabela 18.

Tabela 18 – Teste Granulométrico do RCDB0

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO B0 (12/07/2021)								
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série interm.	1ª Amostra	2ª Amostra	1ª Amostra	2ª Amostra			
76								
	64							
	50							
38								
	32							
	25							
19		0	0	0	0	0	0	
	12,5	350,1	278,9	7,03	5,58	1,45	6,30	6,30
9,5		480,9	450,8	9,65	9,02	0,63	9,34	15,64
	6,3	1966,4	2139,8	39,47	42,80	3,33	41,14	56,78
4,8		1593,7	1689,1	31,99	33,79	1,80	32,89	89,67
2,4								
1,2								
0,6								
0,3								
0,15								
FUNDO		590,5	440,8	11,85	8,82	3,03	10,34	99,98
TOTAL		4981,6	4999,4					MF= 15,3/100=1,05

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO B0 (10/08/2021)								
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série inter.	1ª Amostra	2ª Amostra	1ª Amostra	2ª Amostra			
76								
	64							
	50							
38								
	32							
	25							
19					0	0	0	
	12,5	79,1	66,3	1,6	1,4	0,2	1,5	1,5
9,5		346,4	369,4	6,9	7,6	0,7	7,3	8,8
	6,3	3241	3467,9	65,1	70,9	5,8	68	76,8
4,8		685,2	425,5	13,8	8,7	5,1	11,3	88
2,4								
1,2								
0,6								
0,3								
0,15								
FUNDO		627,4	557,9	12,6	11,4	1,2	12	100
TOTAL		4979,1	4887				DM ^a = 12,5	MF ^b =175,1/100=1,75

(continua)

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO B0 (29/09/2021)								
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série interm.	1ª Amostra	2ª Amostra	1ª Amostra	2ª Amostra			
76								
	64							
	50							
38								
	32							
	25							
19								
	12,5	121,7	58,9	6,14	2,9	3,2	3	3
9,5		280,7	138	14,1	7	7,1	10,5	13,5
	6,3	614,7	440,6	31	22,4	8,6	26,7	40,2
4,8		445,2	517,4	22,5	26,3	3,8	24,4	64,6
2,4								
1,2								
0,6								
0,3								
0,15								
FUNDO		519,6	815,5	26,2	41,4	15	33,8	98,4
TOTAL		1981,9	1970,4					MF=121,3/100=1,21

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO B0 (08/11/2021)								
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série interm.	1ª Amostra	2ª Amostra	1ª Amostra	2ª Amostra			
76								
	64							
	50							
38								
	32							
	25							
19								
	12,5	140,6	139,4	7,1	7,6	0,5	7,4	7,4
9,5		224,5	248,5	11,3	13,6	2,3	12,5	19,9
	6,3	657,8	598,7	33,2	32,8	0,4	33	52,9
4,8		487,6	437,4	24,6	24	0,6	24,3	77,2
2,4								
1,2								
0,6								
0,3								
0,15								
FUNDO		468,7	398,4	23,6	21,8	1,8	22,7	99,9
TOTAL		1979,2	1822,4				DM= 12,5	MF=157,4/100=1,6

^aDM – Diâmetro Máximo; ^bMF – Módulo de Finura. Fonte: Autora (2022). Fonte: Produzido pela autora com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 248 (2003).

A tabela acima mostra a composição granulométrica da brita 0 sendo o Diâmetro Máximo obtido na peneira de 12,5 mm e a média do Módulo de Finura 1,40 mm. Para a brita 0

natural o índice de módulo de finura é 2,13 mm. Observa-se uma quantidade alta de material pulverulento na brita 0 reciclada. O ensaio granulométrico, conforme a NM 248, é necessário para conhecer o tipo de agregado e sua classificação. Agregados bem graduados geram concretos com menor quantidade de cimento, obtendo-se economia.

5.2.4 Análise granulométrica – RCD B1

A análise de dados realizada com os resíduos RCC foi com base na ABNT NM 248 que atende o limite indicado para agregado graúdo e a NM 27 que atende o quantitativo de massa de material a ser usado para a realização da caracterização granulométrica. A norma estabelece, em sua Tabela 2, para a peneira com abertura de malha de 19 mm, 5 kg de material em massa, e na peneira com abertura de malha 12,5 mm, 2 kg de massa de agregado a ser ensaiada. Os resultados para este teste para o RCD Brita 1 estão descritos na Tabela 19.

Tabela 19 – Testes Granulométrico do RCD B1

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO B1 (09/07/2021)								
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série interm.	1 ^a Amostra	2 ^a Amostra	1 ^a Amostra	2 ^a Amostra			
76								
	64							
	50							
38								
	32							
	25							
19		0	0					
	12,5	2394	2386	48,3	48,5	0,2	48,4	48,4
9,5		1324	1547,2	48,3	31,5	16,8	39,9	88,3
	6,3	687	678	13,9	13,8	0,1	13,9	102,2
4,8		476	289	9,6	5,9	3,7	7,8	110
2,4								348,9
1,2								
0,6								
0,3								
0,15								
FUNDO		77,1	18,87	1,5	0,4	1,1	0,9	
TOTAL		4958,1	4919					

^aDM=12,5 ^bMF=348,9/100=3,4

(continua)

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO B1 (09/08/2021)									
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %	
série normal	série interm.	1ª Amostra	2ª Amostra	1ª Amostra	2ª Amostra				
76									
	64								
	50								
38									
	32								
	25								
19		29,2	78,3	0,6	1,6	1	2,2	2,2	
	12,5	3910,5	4160,5	78,3	83,2	4,9	80,8	83	
9,5		790,1	640,2	15,8	12,8	3	14,3	97,3	
	6,3	170	89	3,4	1,7	1,7	2,6	99,9	
4,8		21,5	10	0,4	0,2	0,2	0,3	100,2	
2,4									
1,2									
0,6									
0,3									
0,15									
FUNDO		76,7	21	1,5	0,4	1,1	1,1		
TOTAL		4998	4999				DM=12,5	MF=382,6/100=3,8	

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO B1 (29/09/2021)									
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %	
série normal	série interm.	1ª Amostra	2ª Amostra	1ª Amostra	2ª Amostra				
76									
	64								
	50								
38									
	32								
	25								
19		0	0						
	12,5	1019	1237	51,2	62,8	11,6	57	57	
9,5		570,3	357,2	28,6	18,2	10,4	23,4	80,4	
	6,3	170,8	173,7	8,5	8,8	0,3	8,7	89,1	
4,8		24,7	24,8	1,24	1,3	0,1	1,3	90,4	
2,4								316,9	
1,2									
0,6									
0,3									
0,15									
FUNDO		206,7	174,5	10,4	8,8	1,6	9,6	100	
TOTAL		1991,5	1967,2				DM=12,5	MF=316,9/100=3,2	

(continua)

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO B1 (08/11/2021)								
peneiras		Massa Retida (g)		Massa Retida %		Variação +/- 4%	Média %	Acumulado %
série normal	série interm.	1 ^a Amostra	2 ^a Amostra	1 ^a Amostra	2 ^a Amostra			
76								
	64							
	50							
38								
	32							
	25							
19		0	0					
	12,5	1315,3	1254,3	52,6	50,3	2,3	51,5	51,5
9,5		819,2	737,3	32,8	29,5	3,3	31,2	82,7
	6,3	332,6	246,8	13,3	9,9	1,3	3,4	86,7
4,8		16,5	14,7	0,7	0,6	0,1	0,7	86,8
2,4								
1,2								
0,6								
0,3								
0,15								
FUNDO		15,3	242,9	0,6	9,7	9,1	5,2	9,2
TOTAL		2498,9	2496				DM=12,5	MF=307,7/100=3,1

^aDM - Diâmetro Máximo, ^bMF - Módulo de Finura. Fonte: Produzido pelo autor com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 248 (2003).

A composição do teste de granulometria da Brita 1 reciclada apresentou um índice máximo granulométrico de 12,5 mm e um módulo de finura médio de 3,38 mm. Em relação à Brita 1 natural, não apresentou muita variação ficando com módulo de finura de 3,92 mm. Os dados mostram que quanto menor o grão, maior o percentual de material pulverulento. Os resultados são similares aos relatados obtidos por Ugioni (2017).

Com esses dados, são concluídos os ensaios granulométricos nos quais foram especificados em tabelas os resultados das caracterizações dos agregados de RCD, cujo objetivo foi identificar o diâmetro máximo do agregado e o módulo de finura. A padronização dos grãos a serem utilizados no concreto influenciará na sua qualidade (SILVA, 2017a). Neste sentido, foi observado que quanto maior a granulometria do agregado graúdo, menor o índice de material pulverulento. Nos testes granulométricos do pó de pedra e da brita 0, houve uma variação do módulo de finura em relação ao agregado natural, apresentando um índice maior de material pulverulento.

5.2.5 Massa unitária

O conceito de massa unitária, segundo a NM 45, é dado como a unidade de volume aparente do agregado, incluindo os vazios existentes entre os grãos. O objetivo deste teste está associado com a necessidade da correta dosagem do concreto, na transformação do traço de massa para volume e para cálculos do restante dos materiais a serem usados na dosagem. Os equipamentos utilizados neste teste foram a balança, recipiente metálico no formato de circunferência, haste metálica e concha. A massa unitária determinada por esse ensaio consiste em uma massa seca em estufa conforme a NM 45. A Tabela 20 apresenta os resultados deste teste para o RCD pó de pedra.

Tabela 20 – Teste de massa unitária do RCDPB

AGREGADO MIÚDO RCD - PB - 09/07/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	18,17 kg	
2º AMOSTRA	18,19 kg	
3º AMOSTRA	18,24 kg	
TOTAL	54,6 kg	
MÉDIA	54,6/3 = 18,2	1,10 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD - PB - 10/08/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	13,84 kg	
2º AMOSTRA	14,06 kg	
3º AMOSTRA	14,00 kg	
TOTAL	41,9 kg	
MÉDIA	41,9/3 = 13,97	0,71 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD - PB - 27/09/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	14,55kg	
2º AMOSTRA	14,62kg	
3º AMOSTRA	14,65kg	
TOTAL	43,82kg	
MÉDIA	43,82/3= 14,61kg	0,77 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD - PB - 08/11/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	19,24kg	
2º AMOSTRA	19,34kg	
3º AMOSTRA	19,65kg	
TOTAL	58,23kg	
MÉDIA	58,23/3= 19,41kg	1,25 kg/dm ³

Fonte: Produzido pela autora com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 45 (2006).

Conforme a NBR 7251 e a NM 45, a massa unitária do agregado solto é a média dos resultados individuais obtidos em pelo menos três determinações em que se divide a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado. Neste teste, os resultados não devem apresentar um desvio padrão maior que 1%. O resultado dos testes apresentou o índice de acordo com a norma NM 45, porém, ao comparar com a massa unitária da areia natural, observa-se uma redução de massa, no qual a norma NBR 7810 (ABNT, 1983) determina como 1,48 kg/dm³ e um módulo de finura de 2,21 conforme NBR 7217 (ABNT, 1987).

Na tabela 21 está apresentado o teste de massa unitária para o RCD Brita 0, o qual foi realizado dentro das caracterizações realizadas durante os meses já citados na metodologia.

Tabela 21 – Teste de massa unitária do RCDBO

AGREGADO MIÚDO RCD - BRITA 0 - 09/07/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	12,90 kg	
2º AMOSTRA	12,91 kg	
3º AMOSTRA	13 kg	
TOTAL	38,81 kg	
MÉDIA	38,81/3= 12,94 kg	0,61 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD - BRITA 0 - 09/08/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	12,59 kg	
2º AMOSTRA	12,75 kg	
3º AMOSTRA	13,23 kg	
TOTAL	38,57 kg	
MÉDIA	38,57/3= 12,85 kg	0,60 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD- BRITA 0 - 29/09/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	17,94 kg	
2º AMOSTRA	18,39 kg	
3º AMOSTRA	18,62 kg	
TOTAL	54,95 kg	
MÉDIA	54,95/3= 18,32 kg	1,13 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD - BRITA 0 - 08/11/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	18,04 kg	
2º AMOSTRA	18,04 kg	
3º AMOSTRA	18,89 kg	
TOTAL	54,97 kg	
MÉDIA	54,97/3= 18,32 kg	1,13 kg/dm ³

Fonte: Produzida pelo autor com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 45 (2006).

O resultado dos testes constantes na Tabela 21 comparado com a Tabela 1 da NM 45 não ultrapassou o diâmetro inferior a 220 mm, conforme determina a norma. Analisando os

resultados realizados com os RCDs de massa unitária, eles apresentaram uma massa menor quando comparado com a brita 0, conforme a norma ABNT 7810 (ABNT, 1983), em que o índice de massa é 1,33 kg/dm³. Na tabela 22, apresenta-se o teste de massa unitária do RCD Brita 1, conforme a NM 45.

Tabela 22 – Teste de massa unitária do RCDB 1

AGREGADO MIÚDO RCD - BRITA 1 - 09/07/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	17,21 kg	
2º AMOSTRA	17,28 kg	
3º AMOSTRA	17,49 kg	
TOTAL	51,98 kg	
MÉDIA	51,98/3= 17,33 kg	1,0 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD - BRITA 1 - 09/08/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	13,23 kg	
2º AMOSTRA	12,84 kg	
3º AMOSTRA	13,23 kg	
TOTAL	39,30 kg	
MÉDIA	39,30/3= 13,10 kg	0,63 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD - BRITA 1 - 29/09/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	18,82 kg	
2º AMOSTRA	18,53 kg	
3º AMOSTRA	18,62 kg	
TOTAL	55,97 kg	
MÉDIA	55,97/3= 18,65 kg	1,17 kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO RCD - BRITA 1 - 08/11/21		
CILINDRO - VOLUME 10.20 dm³ - TARA= 6,71		
1º AMOSTRA	18,72 kg	
2º AMOSTRA	18,88 kg	
3º AMOSTRA	18,92 kg	
TOTAL	56,52 kg	
MÉDIA	56,52/3= 18,84 kg	1,18 kg/dm ³

Fonte: Produzida pelo autor com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 45 (2006).

O resultado dos testes constantes na Tabela 22 comparado com a Tabela 1 da NM 45 mostra que não se ultrapassou o diâmetro inferior a 220 mm conforme determina a norma. Analisando os resultados realizados com os RCDs de massa unitária, eles apresentaram uma massa menor quando comparado com a brita 1, conforme a norma ABNT 7810 (ABNT, 1982), onde o índice de massa é 1,39 kg/dm³.

5.2.6 Massa específica para agregado miúdo

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi feita conforme a ABNT NBR 9776/76 NM 52/2003. Essa norma define como massa específica a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. O processo de ensaio do agregado miúdo é diferente do agregado graúdo, ele é normatizado pela NM 52. Os detalhes deste teste são encontrados no item 4.3.1.3.

Os objetivos do teste de massa específica do agregado miúdo diferem do teste de massa específica do agregado graúdo, por isso há uma norma específica que trata dos objetivos, sendo ela a NM 53. Os resultados para este teste de massa específica do agregado miúdo reciclado (Pó de Pedra) podem ser visualizados na tabela 23.

Tabela 23 – Teste de massa específica do RCDPB

coleta 14/07/2021			
SIGLA	MASSA ESPEC. - solotest (g/cm ³)	MASSA ESPEC. - fortest (g/cm ³)	CLASSIFICAÇÃO - 12,55 kg - %
d1	2,04	2,03	
d2	2,75	2,21	
d3	2,51	2,48	
coleta 24/08/2021			
SIGLA	MASSA ESPEC. - solotest (g/cm ³)	MASSA ESPEC. - fortest (g/cm ³)	CLASSIFICAÇÃO - 12,55 kg - %
d1	2,26	2,16	
d2	2,48	2,38	
d3	2,86	3,03	
coleta 04/10/2021			
SIGLA	MASSA ESPEC. - solotest (g/cm ³)	MASSA ESPEC. - fortest (g/cm ³)	CLASSIFICAÇÃO - 12,55 kg - %
d1	2,32	2,44	
d2	2,34	2,46	
d3	2,40	2,49	

continua

coleta 09/11/2021			
SIGLA	MASSA ESPEC. - solotest (g/cm ³)	MASSA ESPEC. - fortest (g/cm ³)	CLASSIFICAÇÃO - 12,55kg - %
d1	2,26	2,25	
d2	2,34	2,32	
d3	2,44	2,43	

Fonte: Produzida pelo autor com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 52 (2003).

Os testes realizados na Tabela 23 são referentes aos RCDs pó de pedra que determinaram a massa específica entre os meses de julho e novembro. Já a Tabela 24 se refere ao teste de massa específica do agregado natural, a areia.

Tabela 24 – Teste de massa específica da areia natural

coleta 24/08/2021			
SIGLA	MASSA ESPEC. - solotest (g/cm ³)	MASSA ESPEC. - fortest (g/cm ³)	CLASSIFICAÇÃO - 12,55 kg - %
d1	2,21	2,21	
d2	2,48	2,45	
d3	3,34	2,89	

Fonte: Produzida pelo autor com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 52 (2003).

Os resultados dos testes de massa específica do pó de pedra apresentados acima na Tabela 23 encontram-se em conformidade com a NM 52. Quando comparado com o teste da areia natural (Tabela 24), observa-se um índice muito próximo. Já quando comparado ao teste realizado por Ugioni (2017), houve um decréscimo de 3,14 % da massa específica do resíduo reciclado quando comparado com o agregado natural, ou seja, a areia. O ensaio do agregado miúdo (reciclado pó de pedra), obedece à norma NM 52, tendo procedimentos diferentes do agregado graúdo que segue a norma NM 53.

5.2.7 Massa específica para agregado graúdo

A determinação do ensaio de massa específica do agregado graúdo foi realizada conforme a ABNT NM 53/2003 e encontra-se apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 – Teste de massa específica do RCDB0

coleta 13/07/2021		
NOMENCLATURA (g) Brita 0	1º Amostra	2º Amostra
d= Massa Específica do Agregado Seco	2,27 g/cm ³	2,22 g/cm ³
m= Massa ao ar da Massa Seca	2948,9	2875,9
ms= Massa ao ar da amostra na condição saturada	2948,9	2875,9
ma=Massa em água da amostra	1649	1575,9
Massa seca em estufa	2941,8	2658,3
Material Cinza		65%
Material Cerâmico Vermelho		25%
coleta 10/08/2021		
NOMENCLATURA (g) Brita 0	1º Amostra	2º Amostra
d= Massa Específica do Agregado Seco	2,14 g/cm ³	2,13 g/cm ³
m= Massa ao ar da Massa Seca	2608	2608,85
ms= Massa ao ar da amostra na condição saturada	2623,1	2632,2
ma=Massa em água da amostra	1404	1405,8
Massa seca em estufa	2258	2261,6
Material Cinza		58%
Material Cerâmico Vermelho		42%
coleta 29/09/2021		
NOMENCLATURA (g) Brita 0	1º Amostra	2º Amostra
d= Massa Específica do Agregado Seco	2,21 g/cm ³	2,22 g/cm ³
m= Massa ao ar da Massa Seca	2000	2000
ms= Massa ao ar da amostra na condição saturada	2003,5	2035
ma=Massa em água da amostra	1095,2	1118
Massa seca em estufa	1781,5	1803,5
Material Cinza		62%
Material Cerâmico Vermelho		38%
coleta 16/11/2021		
NOMENCLATURA (g) Brita 0	1º Amostra	2º Amostra
d= Massa Específica do Agregado Seco	2,06 g/cm ³	2,06 g/cm ³
m= Massa ao ar da Massa Seca	2500	2500
ms= Massa ao ar da amostra na condição saturada	2566,5	2588,1
ma=Massa em água da amostra	1350	1377
Massa seca em estufa	2263,5	2184,5
Material Cinza		68%
Material Cerâmico Vermelho		32%

Fonte: Produzida pelo autor com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 53 (2006).

O teste de massa específica é importante para determinar o cálculo do volume ocupado pelo agregado na mistura do concreto analisada numa base de volume absoluto (CDT, 2016). Os ensaios de massa específica do agregado graúdo brita 0 apresentados (Tabela 25) estão de acordo com a norma, a qual estabelece um percentual de 0,05 g/cm³ de diferença entre um ensaio de duas amostragem. Conforme os ensaios realizados, em relação à caracterização de

percentual de mistura de materiais no agregado RCD da Usina SBR, descrito nas tabelas, o índice de materiais cinza (concreto, argamassa) é bem maior que o percentual de cerâmica vermelha (tijolo, cerâmica). Com base nos dados, estima-se que a qualidade dos agregados reciclados é boa devido ao percentual elevado de materiais cinza. A Tabela 26 traz a massa específica para a brita 1.

Tabela 26 – Teste de massa específica do RCDB1

coleta 13/07/2021		
NOMENCLATURA (g) Brita 1	1° Amostra	2° Amostra
d= Massa Específica do Agregado Seco	2,21 g/cm ³	2,20 g/cm ³
m= Massa ao ar da Massa Seca	3000	3000
ms= Massa ao ar da amostra na condição saturada	3043,8	3058,6
ma=Massa em água da amostra	1686,2	1693,3
Massa seca em estufa	2775,1	2741,1
Material Cinza		74%
Material Cerâmico Vermelho		26%
coleta 10/08/2021		
NOMENCLATURA (g) Brita 1	1° Amostra	2° Amostra
d= Massa Específica do Agregado Seco	2,23 g/cm ³	2,17 g/cm ³
m= Massa ao ar da Massa Seca	2500	2500
ms= Massa ao ar da amostra na condição saturada	2505,9	2506,3
ma=Massa em água da amostra	1383,3	1353,3
Massa seca em estufa	2242	2254
Material Cinza		81,5%
Material Cerâmico Vermelho		18,5%
coleta 29/09/2021		
NOMENCLATURA (g) Brita 1	1° Amostra	2° Amostra
d= Massa Específica do Agregado Seco	1,84 g/cm ³	1,84 g/cm ³
= Massa ao ar da Massa Seca	3000	3000
ms= Massa ao ar da amostra na condição saturada	3083,7	3091,4
ma=Massa em água da amostra	1455,5	1450,8
Massa seca em estufa	2955	2954
Material Cinza		78%
Material Cerâmico Vermelho		22%
coleta 16/11/2021		
NOMENCLATURA (g) Brita 1	1° Amostra	2° Amostra

continua

d= Massa Específica do Agregado Seco	1,72 g/cm ³	1,74 g/cm ³
m= Massa ao ar da Massa Seca	2500	2500
ms= Massa ao ar da amostra na condição saturada	2604,1	2582,1
ma=Massa em água da amostra	1147,8	1143,1
Massa seca em estufa	2409,7	2385,1
Material Cinza		77,5%
Material Cerâmico Vermelho		22,5%

Fonte: Produzida pelo autor com base nas caracterizações feitas em laboratório conforme NM 53 (2006).

O resultado obtido para a massa específica influenciará no traço do concreto (NBR 7211/2005 NM 53; ARNOLD, 2011). Os testes realizados estão de acordo com a norma e não se diferenciam muito do agregado natural.

Com base nos resultados obtidos por meio dos testes de caracterização dos materiais RCDs foram obtidos alguns parâmetros, iniciando pelo teste granulométrico do agregado miúdo. Esses materiais apresentam uma granulometria maior que o agregado natural, com classificação na zona utilizável do módulo de finura, obtendo uma classificação de areia média para grossa, conforme Tabela 15. O agregado graúdo, a brita 0, quando comparada com a brita 0 natural, observa-se uma diferença no módulo de finura e uma concentração maior na peneira com abertura de 6,3 mm. Este resultado está presente na Tabela 18 e nos gráficos. Já no agregado graúdo brita 1, a diferença em relação ao agregado natural não é muito expressiva em relação ao módulo de finura, o que se pode observar na Tabela 19, que apresenta resultados melhores quando comparados a trabalhos semelhantes como o de Ugioni (2017). Os testes de massa unitária e massa específica apresentam semelhança a trabalhos como os de Blanco (2018).

5.3 RESULTADO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

5.3.1 Ensaios de resistência à compressão

A resistência à compressão está relacionada a diversos fatores, como fator água/cimento, teor de ar incorporado, tipo de cimento, agregados, aditivos e adições minerais. Este nível de tensão é influenciado na zona de transição do concreto, conforme aponta Silva (2005). A resistência à compressão é a característica principal do concreto pelo seu melhor desempenho. A norma estabelece para pavimentos de concreto 35 Mpa para tráfego leve. A Tabela 27 e a

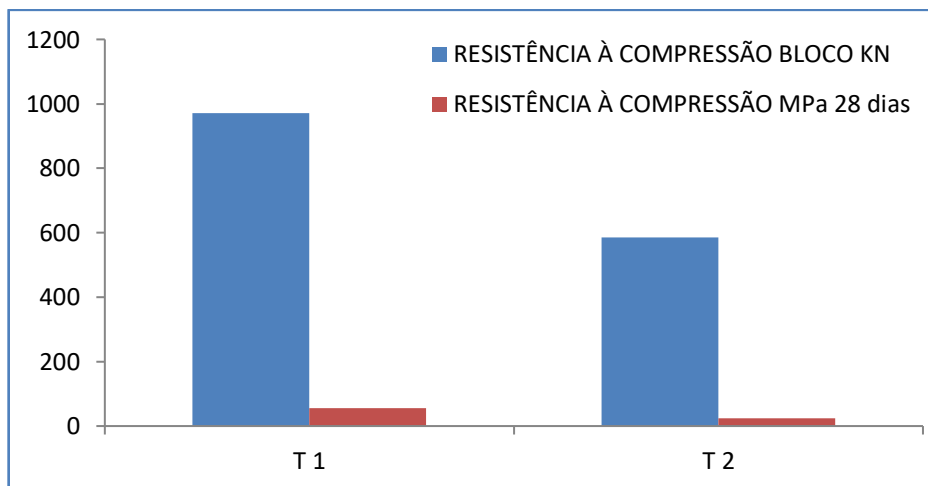
Figura 11 apresentam a resistência à compressão obtida no primeiro teste para todos os traços testados, onde foram moldados 36 corpos de prova.

Tabela 27 – Resistência à compressão obtida para os traços de concreto do primeiro teste

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
TRAÇO	kN ^a	Mpa ^b 14 dias	Mpa 28 dias
T 1	173,497	22,09	
T 1	180,263	22,95	43,8
T 1	165,964	21,13	
T 2	135,104	17,2	
T 2	129,124	16,44	34,1
T 2	135,32	17,22	
T 3	74,269	9,45	
T 3	77,711	9,89	31,7
T 3	69,666	8,87	
T 4	75,331	9,59	
T 4	72,243	9,19	30,1
T 4	74,465	9,48	

^akN – KiloNewton; MP - Mega Pascal. Fonte: Autora (2022).

Figura 11 – Resistência à compressão obtida para os traços de concreto do primeiro teste



^aMP - Mega Pascal. Fonte: Autora (2022).

Os testes de resistência à compressão na primeira amostragem com T3 (brita 1) e T4 (brita 0) obtiveram um índice abaixo da norma. Esses resultados podem estar associados à presença da cerâmica por ser um material com índice de plasticidade alto que influencia diretamente na resistência (TORGAL, 2010). Já segundo Ollivier (1998), a presença de

partículas inertes na zona de transição do concreto nas primeiras idades atua de forma negativa, atrapalhando a formação preferencial de hidróxido de sódio e dificultando a formação de planos de fratura contíguos, ocorrendo a diminuição da resistência mecânica à compressão. O traço T2 foi o que melhor apresentou uma resistência à compressão entre os agregados reciclados. Os dados inclusive são semelhantes aos realizados com areia britada pelo autor Rodolpho (2007). Conforme Silva (2005), com a adição de até 20 % de RCD no concreto, a resistência mecânica aumenta em relação ao traço de referência. Em T2 foi realizado o ensaio de compressão aos 60 dias e houve um aumento de resistência passando para 34,31 MPa.

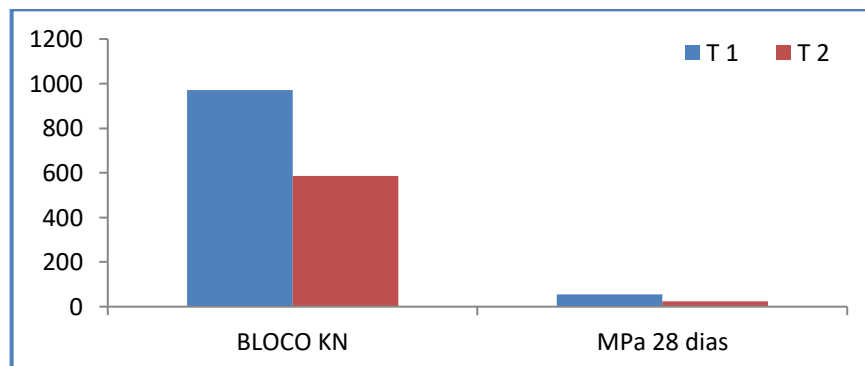
Com objetivo de melhorar essa resistência, foi realizado um novo teste com a substituição do cimento CPIV pelo cimento CPV (Tabela 28). Esse segundo teste de resistência à compressão não apresentou aumento no índice de resistência no T2, porém, no T1 (referência) houve um aumento significativo. Os resultados sugerem que não é a troca de cimento, mas um ajuste na dosagem de água e aditivo para os agregados reciclados, tendo em vista o índice de material pulverulento, que necessita de mais água na pasta, ocasionando uma perda na resistência mecânica.

Tabela 28 – Resistência à compressão obtida para os traços de concreto do segundo teste

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO		
TRAÇO	Bloco kN ^a	Mpa ^b 28 dias
T 1 Referência	971,5	55,9
T 2 Pó de Pedra	584,9	24,6

^aKiloNewton; ^bMP - Mega Pascal. Fonte: Autora (2022).

Figura 12 – Resistência à compressão obtida para os traços de concreto do segundo teste



^aMP - Mega Pascal. Fonte: Autora (2022).

5.3.2 Ensaios de resistência à tração

A resistência à tração axial está relacionada à capacidade de tensão que poderá levar a fraturas, uma condição inversa à porosidade. As causas estão relacionadas ao fator água/cimento, ar incorporado, tipo de cimento, água de amassamento, agregados, aditivos e adições minerais (METHA; MONTEIRO, 2014). Este nível de tensão poderá ocorrer na zona de transição do concreto. A Tabela 29 mostra os resultados obtidos com o teste de tração para os traços do primeiro e do segundo teste. Esses mostram que o agregado reciclado é mais resistente à tração do que à compressão. À medida que aumenta o percentual de resíduo reciclado RPP (resíduo de produção de porcelanato) no concreto, aumenta a resistência à tração (SILVA, 2005).

Tabela 29 – Teste de resistência à tração para os traços do primeiro e do segundo teste

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	
TRAÇO	kN ^a
T 1	86947
T 1	52143
T 1	54363
T 2	50007
T 2	58886
T 2	49881
T 3	22993
T 3	18973
T 3	23496
T 4	23580
T 4	17931
T 4	23370

^aKiloNewton. Fonte: Autora (2022).

5.3.3 Ensaios de Resistência à abrasão

A resistência à abrasão foi realizada conforme a norma NBR 6465 (ABNT, 1984) e a norma NM 51, Los Angeles que estabelecem critérios para o tráfego de pedestres e tráfego de veículos leves. A cavidade máxima é de ≤ 23 mm. Os ensaios devem ser realizados com amostras do mesmo lote, depois de passar pelo teste de compressão. O ensaio foi realizado no

equipamento chamado moinho de bola, abastecido com material abrasivo, tendo sido ligado a uma voltagem de acordo com a norma e deixado girar até completar 500 voltas. Após, foi passado na peneira 25 mm, embaixo da água, e pesado o que ficou retido. Os resultados estão dispostos na Tabela 30.

Tabela 30 – Resistência à abrasão realizada nos traços do primeiro e do segundo teste

RESISTÊNCIA À ABRASÃO			
corpo de prova	peso	peso seco	perda %
T 1	3539		
T 1	3487	5991,5	15
T 2	3068		
T 2	3157	4907,8	20
T 3	2906		
T 3	2841	4568,8	20
T 4	3018		
T 4	3001	1080,2	82

Fonte: Autora (2022).

O teste consistiu em avaliar o desgaste do corpo de prova/produto em relação à massa pelo atrito sofrido. A norma NM 51 especifica na Tabela 2 a fração de perda + ou – 25 mm. De acordo com os cálculos apresentados com base na norma, o traço dois (T2) e o traço três (T3) são os que estão dentro dos padrões admissíveis de desgaste. Analisando estudo de pavimentação intertravados em concreto com agregado natural, o índice de abrasão ficou semelhante (BARBOSA, 2021).

5.4 APLICAÇÕES DE RCD COMO AGREGADO EM CALÇAMENTOS

Conforme Caetano, Selbach e Gomes (2016), 83% dos RCDs são passíveis de reaproveitamento, sendo que no Brasil, somente 21% desses resíduos são reutilizados.

A usina SBR em parceria com o município de Canoas/RS faz o recolhimento, segregação e trituração dos resíduos, produzindo agregados de diferentes granulometrias.

Com base na pesquisa desenvolvida, constatou-se que os resíduos da usina caracterizados possuem um percentual de cinzas em torno de 83% e os testes realizados comprovaram um excelente desempenho. Na mistura da pasta para o concreto, o desempenho ficou levemente abaixo do que a norma estabelece, porém, como a aplicação prevista é calçamento, pode ser viável. No entanto, o efeito fíler no pó de pedra (areia reciclada) com

elevados teores, conforme dados dos ensaios granulométricos, mostra o índice de finos, eleva consideravelmente a quantidade de água, ocasionando uma baixa da trabalhabilidade.

Dentre todos os resíduos caracterizados, o que apresentou melhor desempenho foi o pó de pedra com resistência mecânica à compressão em 34,31 MPa.

Em trabalho similar ao realizado nesta pesquisa, os autores apresentaram os custos da produção de blocos PVS onde se constatou que são necessárias 50 peças para pavimentar uma área de 1 m². Mostra-se, ainda, no referido trabalho, que com um volume de 1807 m³ de resíduo gerado (RCD) é possível produzir aproximadamente 1.505.000 pavers para calçar uma área de 30.100 m². Quando estes pavers são produzidos diretamente no canteiro de obra há uma economia de 35% (SILVA, 2017b). Com base nesses dados, foi realizado um cálculo do custo do bloco PVS com a produção do resíduo da usina SBR, Estudo de Caso deste trabalho. Constatou-se que para a produção de 1 m³ de concreto seriam necessários 6,5 sacos de cimento, 0,5 m³ de pó de pedra e 0,8 m³ de brita 0, totalizando um custo de R\$ 468,50. Com esta quantidade de concreto seria possível produzir 833 blocos com base na dimensão das formas utilizadas. Ao se fazer uma divisão por peça, totaliza-se um custo de R\$ 0,57 por unidade. A comparação com o valor da peça comercializada é de ~R\$ 3,50, resultando em uma economia de 75%. Salienta-se que não foram considerados os encargos no cálculo acima, nem os custos relacionados à água, energia e mão de obra.

Uma sugestão a ser dada para a empresa Estudo de Caso seria a produção dos blocos para pavimentação de calçadas em parceria com o município devido à facilidade de obtenção e transformação dos RCDs em agregados utilizáveis. Uma forma viável de reaproveitamento do resíduo em que ele retornaria como um produto para a sociedade. Esta conduta poderia ser vista como um incentivo à sociedade na condução dos seus RCDs para o local correto a fim de ser reutilizado, sabendo que ele retornaria como um benefício.

5.5 RESULTADO DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, AMBIENTAL E MORFOLÓGICA DOS PRODUTOS GERADOS A PARTIR DOS RCD E CORPOS DE PROVA

A seguir, apresentam-se os resultados das análises realizadas nos produtos gerados a partir dos RCDs e dos seus corpos de prova. As análises realizadas envolveram a técnica de FRX a fim de identificar a composição química dessas substâncias em termos de elementos majoritários; a técnica de MEV-EDS com o propósito de avaliar a morfologia deles e testes de lixiviação e solubilização com base na NBR 10004 a fim de classificar esses resíduos e também

avaliar o teor de elementos liberados quando estes corpos de prova forem submetidos à condições de intempéries.

5.5.1 Caracterização por FRX

A composição química dos RCDs, como mencionado acima, foi realizada por meio da técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios - X (FRX). Tal análise possui como objetivo a busca de elementos dispersos a fim de identificar a composição química em uma amostra e estabelecer a proporção de cada elemento presente, buscando a identificação de parâmetros químicos majoritários existentes. A técnica de FRX é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos químicos ($Z > 10$) presentes em uma amostra (análise qualitativa), assim como estabelecer a proporção (análise quantitativa) de cada elemento. Na Tabela 31 podemos observar os resultados obtidos para os agregados e para os primeiros corpos de prova obtidos a partir destes.

Tabela 31 – Resultados obtidos por FRX para os agregados (RCDs) e corpos de prova

Amostra	Faixa de elementos presentes ($5\% < X < 50\%$)	Faixa de elementos presentes ($< 5\%$)
C1 Pó de pedra (12/07/2021)	Si, Ca, Al, Fe	K, Mg, Ti, S, Ba, Zr, Mn, Sr, Zn, Rb, Y
C2 Pó de pedra (10/08/2021)	Si, Ca, Al, Fe	K, Mg, Ti, S, Ba, Mn, Zr, Sr, Zn, Cu, Rb, Y
C4 Pó de pedra (16/11/2021)	Si, Ca, Fe, Al	K, Mg, Ti, S, Mn, Zr, Sr, Zn, Rb, Y
C1 Brita 0 (12/07/2021)	Si, Ca, Fe, Al	K, Ti, Mg, S, Ba, Mn, Zr, Sr, Zn, Rb, Y
C2 Brita 0 (10/08/2021)	Si, Ca, Fe, Al	K, Ti, Mg, S, Zr, Mn, Sr, Zn, Rb, Y
C4 Brita 0 (16/11/2021)	Si, Ca, Fe, Al	K, Ti, Mg, Ba, S, Mn, Zr, Sr, Rb, Zn, Y
C1 Brita 1 (12/07/2021)	Si, Ca, Fe, Al	K, Ti, Mg, S, Ba, Mn, Zr, Sr, Cr, Zn, Rb, Y
C2 Brita 1 (10/08/2021)	Si, Ca, Fe, Al	K, Ti, Mg, S, Ba, Mn, Zr, Sr, Rb, Zn, Y
C4 Brita 1 (16/11/2021)	Si, Ca, Fe, Al	K, Ti, Mg, Ba, S, Mn, Zr, Sr, Cr, Pb, Rb, Zn, Y, Ac
T1 Corpo de prova (13 g agregado natural)	Ca, Si, Fe, Al	K, Mg, Ti, S, Ba, Sr, Mn, Zr, Zn, Cu, Rb
T2 Corpo de prova (19 g pó de pedra)	Ca, Si, Fe, Al	K, Mg, Ti, S, Ba, Sr, Mn, Zr, Zn, Rb, Y
T3 Corpo de prova (28 g brita 0)	Ca, Si, Fe, Al	K, Mg, Ti, S, Sr, Zr, Mn, Zn, Rb, Y
T4 Corpo de prova (39 g brita 1)	Ca, Si, Fe, Al	K, Mg, Ti, S, Ba, Sr, Mn, Zn, Cu, Rb, Y

Fonte: Autora (2022).

Conforme pode ser observado na Tabela 31, os resultados obtidos para os agregados reciclados e para os quatro traços mostram, neste primeiro momento, apenas uma avaliação semiquantitativa da composição de cada amostra, identificando as principais substâncias presentes. Nota-se que os elementos químicos presentes na faixa de 5 a 50%, em todas as amostras, foram silício (Si), cálcio (Ca), alumínio (Al) e ferro (Fe). Salienta-se que estes elementos são elementos presentes com abundância na crosta terrestre, nas rochas. Já, os elementos identificados na faixa considerada traço para a técnica de FRX, ou seja, na faixa <5%, foram os elementos potássio (K), magnésio (Mg), titânio (Ti), enxofre (S), bário (Ba), manganês (Mn), zircônio (Zr), estrôncio (Sr), zinco (Zn), cobre (Cu), rubídio (Rb) e ítrio (Y).

Com base nos resultados dos testes de resistência física (testes de resistência à compressão) obtidos nos corpos de prova do teste 1, foram selecionadas as melhores condições para um segundo teste (segunda concretagem). Neste segundo teste houve alteração do tipo de cimento, da quantidade de água e quantidade do aditivo. Na Tabela 32 são apresentados os resultados para esses novos corpos de prova e, também, a repetição da análise para o T2 do primeiro teste, porém, agora com o uso de um segundo equipamento de FRX.

Tabela 32 – Resultados obtidos por FRX, na forma de óxidos, para os corpos de prova do 2º teste realizado com uso dos agregados. Onde: T1 = traço referência; T2 = substituição da areia natural pelo pó de pedra (areia reciclada).

Amostra T1 (Referência) - 2º Teste	
CONCENTRAÇÃO MÉDIA OBTIDA PARA OS ELEMENTOS PRESENTES	
ÓXIDOS	%
SiO ₂	45,891%
CaO	32,781%
Fe ₂ O ₃	8,260%
Al ₂ O ₃	6,404%
K ₂ O	1,892%
MgO	1,847%
SO ₃	1,480%
TiO ₂	1,006%
SrO	0,161%
MnO	0,137%
V ₂ O ₅	0,060%
ZrO ₂	0,035%
ZnO ₂	0,017%
CuO	0,012%
Rb ₂ O	0,008%
Y ₂ O ₃	0,006%
NiO	0,003%

continua

Amostra T2 (Pó de Pedra) - 1º Teste

CONCENTRAÇÃO MÉDIA OBTIDA PARA OS ELEMENTOS PRESENTES	
ÓXIDOS	%
SiO ₂	49,962%
CaO	27,425%
Al ₂ O ₃	9,789%
Fe ₂ O ₃	6,231%
MgO	2,187%
SO ₃	1,650%
K ₂ O	1,535%
TiO ₂	0,884%
MnO	0,089%
SrO	0,076%
V ₂ O ₅	0,038%
ZrO ₂	0,038%
Cr ₂ O ₃	0,038%
ZnO	0,027%
Rb ₂ O	0,013%
NiO	0,012%
Y ₂ O ₃	0,005%

Amostra T2 (Pó de pedra) - 2º Teste

CONCENTRAÇÃO MÉDIA OBTIDA PARA OS ELEMENTOS PRESENTES	
ÓXIDOS	%
CaO	38,805%
SiO	37,685%
Fe ₂ O ₃	8,931%
Al ₂ O ₃	7,765%
MgO	2,079%
SO ₃	1,815%
K ₂ O	1,332%
TiO ₂	1,142%
SrO	0,164%
MnO	0,140%
V ₂ O ₅	0,064%
ZrO ₂	0,041%
ZnO	0,021%
Y ₂ O ₃	0,008%
CuO	0,005%
Rb ₂ O	0,001%

Fonte: Autora (2022).

Com base na Tabela 32 avalia-se que a análise química realizada no corpo de prova traço referência (T1 – 2º teste) revela como predominantes os elementos (na forma de óxidos)

Si, Ca, Al e Fe. Neste traço foram obtidos teores de ~46% para o dióxido de silício (SiO_2). Esse índice é relativamente alto e está diretamente associado à sua presença nas argilas e conseqüentemente na composição do cimento, podendo formar um índice na faixa de 40% até 80% do total da matéria-prima. O segundo óxido identificado como majoritário neste mesmo traço foi o óxido de cálcio (CaO) representando ~33%. Salienta-se que a cal apresenta um índice de 10% nas argilas e a composição do cimento apresenta altas quantidades de argilas estando, desta forma, justificada a sua presença também no traço referência. O terceiro óxido identificado foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) com o teor de 6,4%, estando abaixo dos parâmetros de 10% a 40% normalmente encontrados nessas substâncias. O quarto foi o óxido de ferro (Fe_2O_3) na concentração de 8,3%. Este composto usualmente apresenta um índice não superior a 7% no concreto.

Os demais óxidos foram o óxido de potássio (K_2O) com 1,9%, o óxido de magnésio (MgO) com 1,85%, o óxido de enxofre (SO_3) com 1,5% e o dióxido de titânio (TiO_2) com 1,01%. Esses são justamente os óxidos de maior representatividade que estão presentes nos minerais das rochas (SILVA, 2005).

A análise realizada no corpo de prova traço T2, em que houve a substituição da areia natural pelo pó de pedra (areia reciclada), revelou algumas alterações em relação à composição dos elementos principais. Os teores dos quatro primeiros óxidos identificados em ambas as amostras, ou seja, óxidos de Si, Ca, Fe e Al, seus teores passam de 45,89%, 32,78%, 8,2% e 6,4%, no traço referência, para 49,96, 27,42%, 6,2% e 9,7% no traço 2 (T2). Essas diferenças demonstram claramente a associação com o agregado reciclado utilizado. Em relação aos teores aceitáveis, o Al_2O_3 (~10%), o Fe_2O_3 (~6%), o MgO (~2%), o SO_3 (~2%) e o K_2O (1,5%) estes encontram-se acima do teor aceitável de 1%. Os demais óxidos identificados estão abaixo deste teor.

Os teores estabelecidos como aceitáveis são os que na composição do concreto estão dentro dos limites estabelecidos. Conforme Petrucci, (1978), o índice de MgO acima de 1% exerce um efeito favorável sobre a pega, mas fica favorecida também a formação de hidróxido de magnésio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) o que, por sua vez, favorece a formação de fendas. O óxido de cálcio (CaO) dá origem a reações expansivas perigosas pela fixação da água, que ocorrem depois da pega (SILVA, 2005).

Em relação à composição química do traço T2, primeiro teste para o traço T2, segundo teste, a mudança refere-se principalmente aos óxidos de silício, cálcio, alumínio e ferro. No primeiro teste, esses índices eram de 49,96, 27,42, 9,78, 6,23% e, no segundo teste, passaram para 37,68, 38,80, 7,76 e 8,93%. Essas alterações na composição química do T2 podem estar

associadas à alteração do tipo de cimento. Conforme já foi relatado anteriormente, no primeiro teste foi utilizado o cimento do tipo CP IV-Z que contém pozolana e, no segundo, foi utilizado o CPV -ARI, cimento de alta resistência inicial.

A técnica de FRX é uma das técnicas analíticas mais utilizadas em geoquímica. É usada na análise de amostras mineralizadas, na determinação de elementos em concentração anômala. No caso dos RCDs, existem muitos elementos presentes na sua composição por se tratar de resíduo como a cerâmica vermelha (tijolo, telha, cerâmica) e os materiais cinza (concreto, argamassa). As análises químicas realizadas vêm apresentar valores compatíveis com pesquisas semelhantes (ARAÚJO, 2014).

5.5.2 Caracterização por MEV-EDS

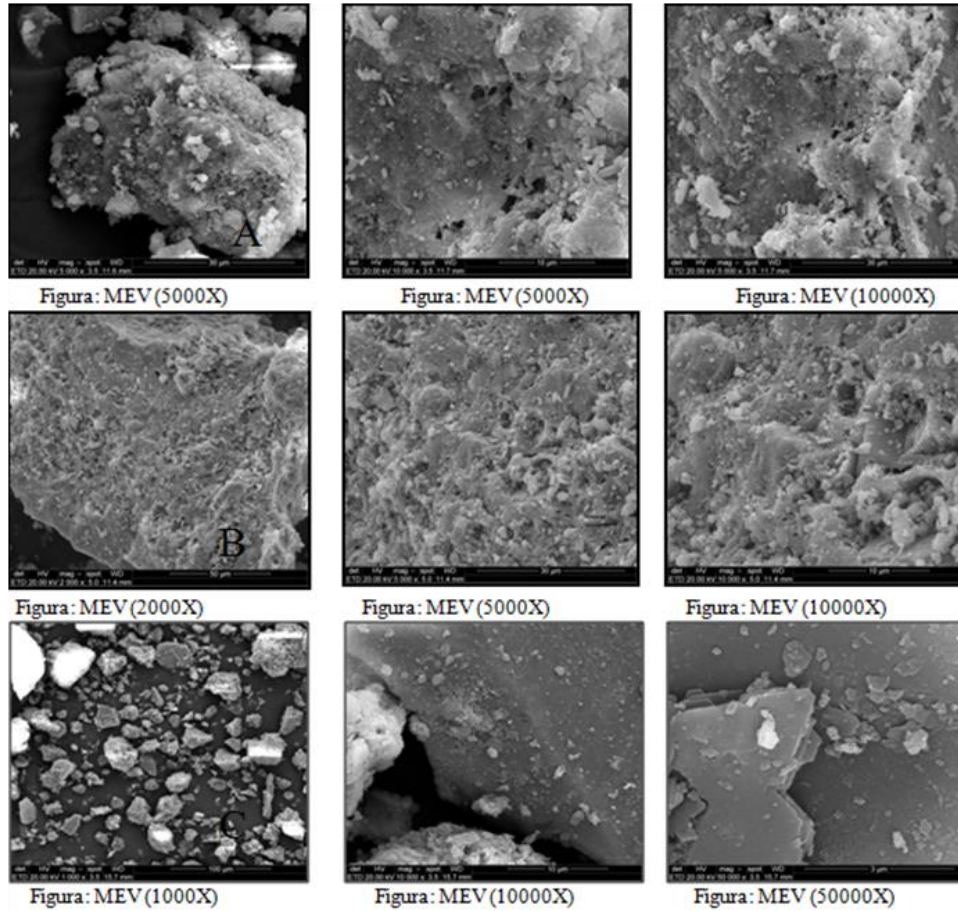
A análise morfológica dos RCDs foi feita utilizando-se a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV acoplada a um sistema de Energia Dispersiva - EDS. Esse sistema fornece uma análise semiquantitativa que permite identificar os elementos químicos presentes na amostra. A técnica consiste em analisar o comprimento de onda modificado emitido após a interação entre a radiação eletromagnética emitida pelo equipamento e a estrutura atômica dos elementos. O MEV é um dos instrumentos mais versáteis para observação e análise das características microestruturais de materiais sólidos, consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para examinar a superfície da amostra (DEDAVID, 2007).

As amostras submetidas às análises por MEV foram: pó de pedra das coletas 1, 2 e 4; brita 0 das coletas 1, 2 e 4; brita 1 também das coletas 1, 2 e 4 e traço 1, 2, 3 e 4. As micrografias obtidas para as amostras encontram-se especificadas abaixo e, a fim de obter uma melhor visualização e identificação das partículas presentes nos resíduos, foram geradas imagens de diferentes resoluções.

5.5.2.1 Caracterização Morfológica dos RCDs

A Figura 13 apresenta as imagens obtidas para o RCD pó de pedra nas coletas realizadas ao longo de 2021. Ao avaliarmos as micrografias com relação à morfologia dos grãos, observa-se uma forma mais arredondada, mas apresenta uma textura mais rugosa e porosa, um material pulverulento, o que poderá elevar consideravelmente o índice de absorção dos materiais, porém atua de forma positiva na aderência entre a pasta e o agregado (ARAÚJO, 2014).

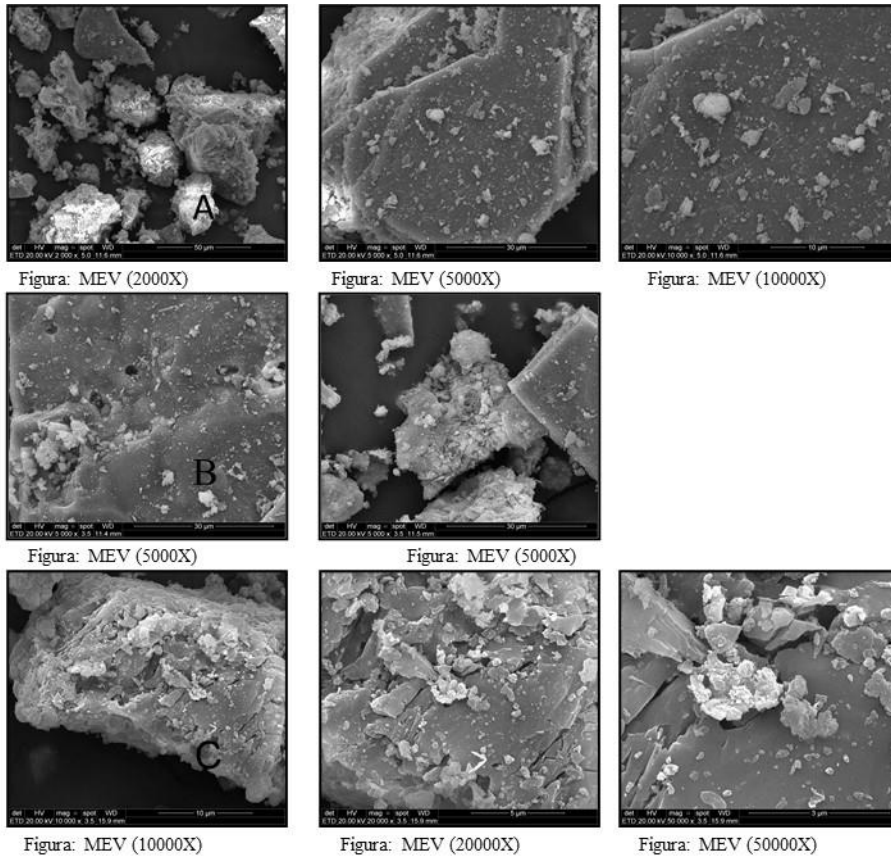
Figura 13 – Imagem MEV obtida para o RCD pó de pedra



a) imagem do mês de julho; b) imagem do mês de agosto; c) imagem do mês de novembro. Fonte: Autora (2022).

A Figura 14 apresenta os resultados obtidos para o RCD brita 0. Nesta figura, observa-se a heterogeneidade do material com a presença de material pulverulento e com uma textura rugosa, conforme também foi apresentado nos testes de granulometria.

Figura 14 – Imagem MEV obtida para o RCD brita 0

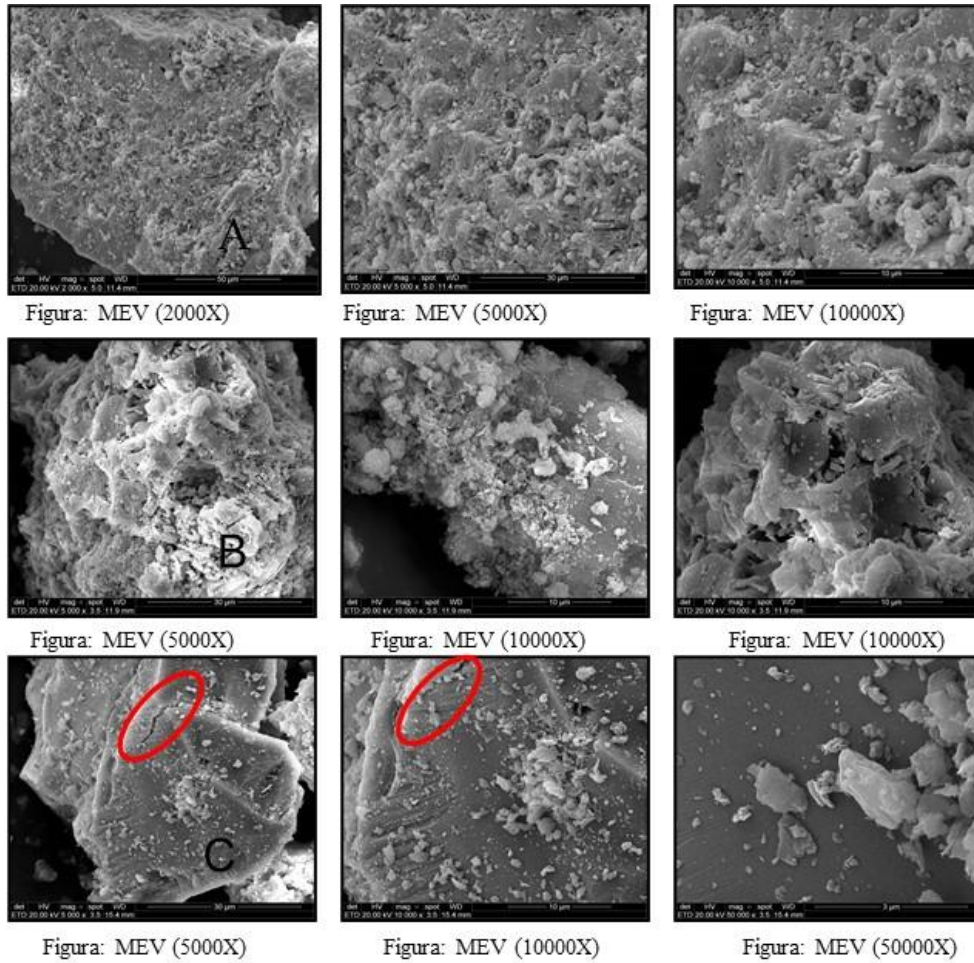


a) imagem de julho; b) imagem de agosto; c) imagem de novembro.

Fonte: Autora (2022).

Na análise da micrografia do RCD brita 1 (Figura 15C em destaque) é possível observar a zona de transição entre a argamassa e o concreto. Esse resultado já foi observado no teste de massa específica devido à presença da cerâmica. Na morfologia dos agregados, há forma mais arredondada, mas apresenta uma textura rugosa e, os agregados encontram-se envolvidos pela pasta, porém, observam-se vazios apresentando um certo comprometimento em relação à aderência. Esse fato poderá ser explicado pela presença do agregado natural, por ser mais liso proporcionando aderência menor (ARAÚJO, 2014).

Figura 15 – Imagem MEV obtida para o RCD brita 1

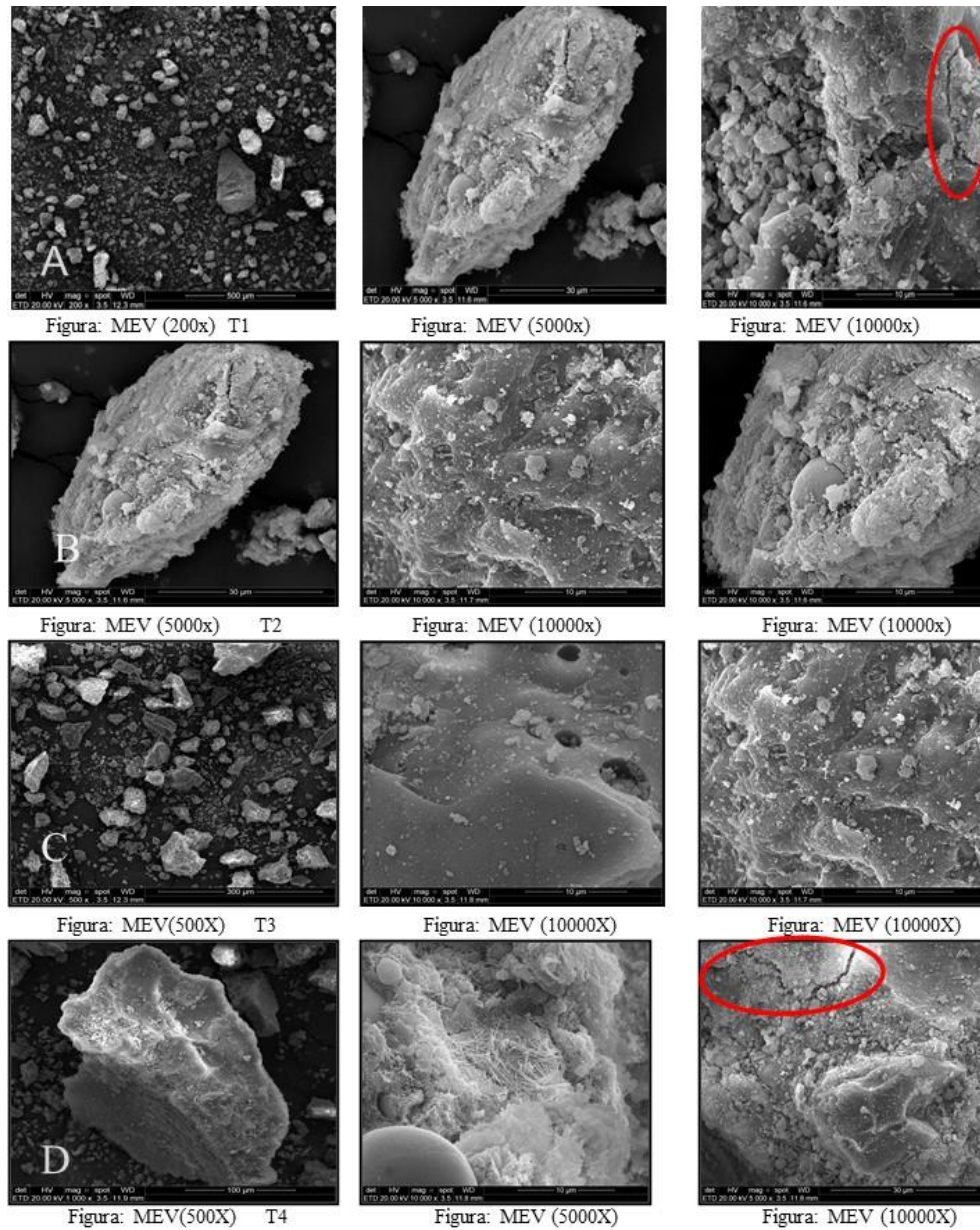


a) imagem de julho; b) imagem de agosto; c) imagem de novembro. Fonte: Autora (2022).

5.5.2.2 Caracterização Morfológica dos traços gerados usando os RCDs

A Figura 16 mostra os resultados obtidos para os corpos de prova. O traço 1 (Fig. 16A) apresenta grãos irregulares e a zona de transição da pasta (destaque na figura). Já as Figuras 16B e 16C (traço 2 e 3) apresentam rugosidade e material pulverulento. A Figura 16D (traço 4) apresenta rugosidade e a zona de transição da pasta (destaque na figura). Estas imagens mostram que os grãos não apresentam forma definida sendo irregulares e angulosos, conforme relatado por Silva (2005). Já para Araújo (2014), os grãos apresentam textura rugosa e porosa.

Figura 16 – Imagem MEV para os corpos de prova T1, T2, T3 e T4

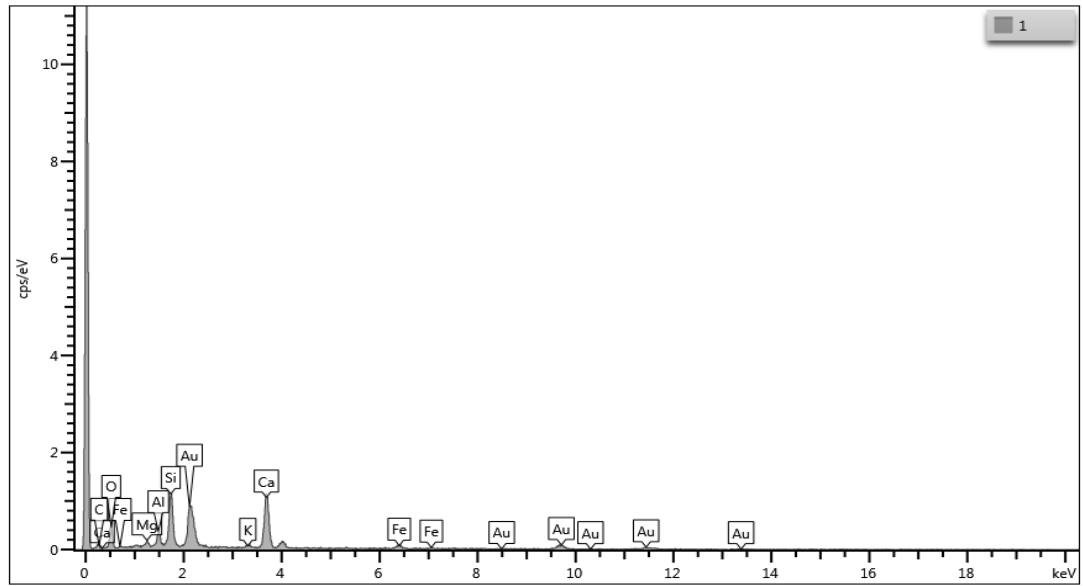


a) imagem do T1 - traço referência); b) imagem T2 - traço pó de pedra); c) imagem T3- traço brita 1; d) imagem T4 - traço RCD brita 0.

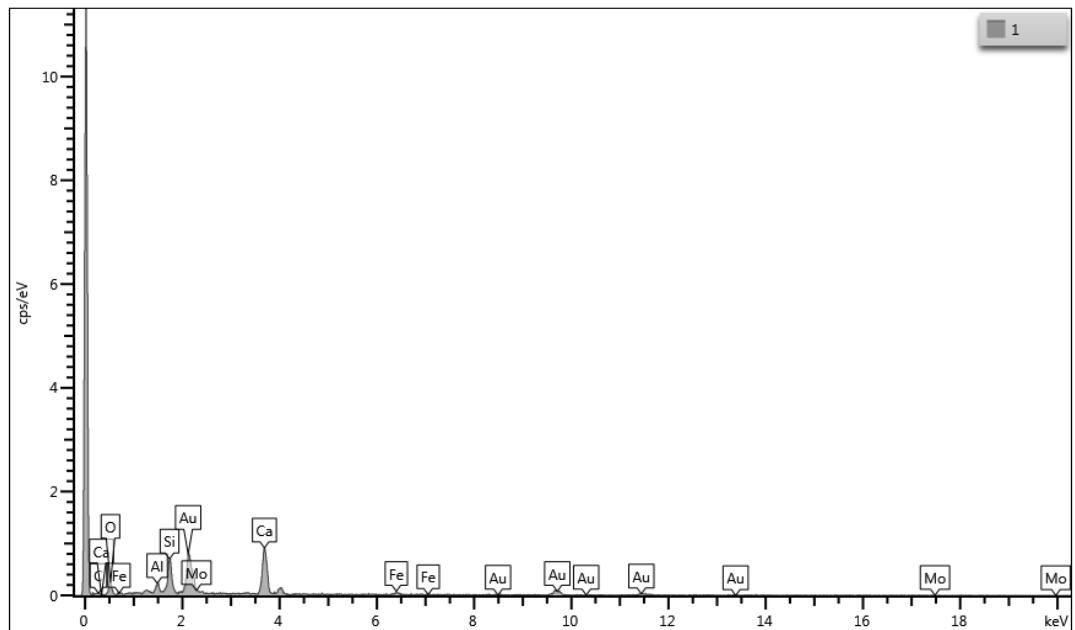
Fonte: Autora (2022).

A Figura 17 traz os espectros EDS obtidos para as amostras do primeiro teste de concretagem realizados. Nos espectros foi possível identificar elementos comuns para todas as amostras como o Ca, o Fe e o Si. Já o elemento Al foi identificado em três dos quatro traços.

Figura 17 – Espectros EDS obtidos para os traços da primeira concretagem

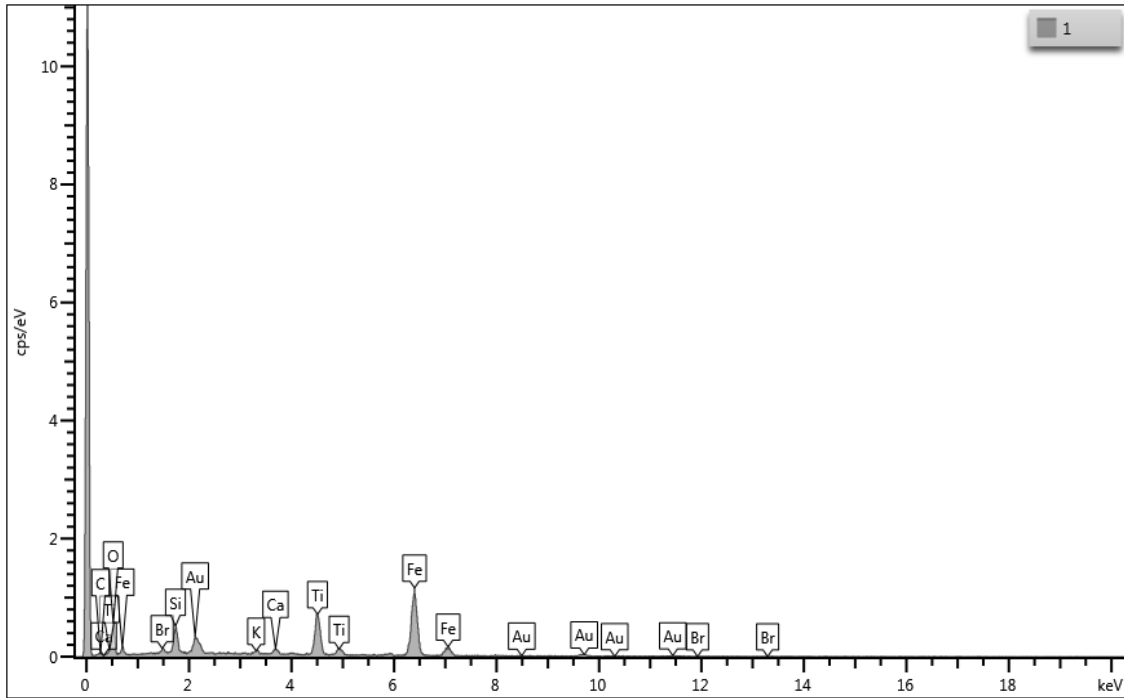


A

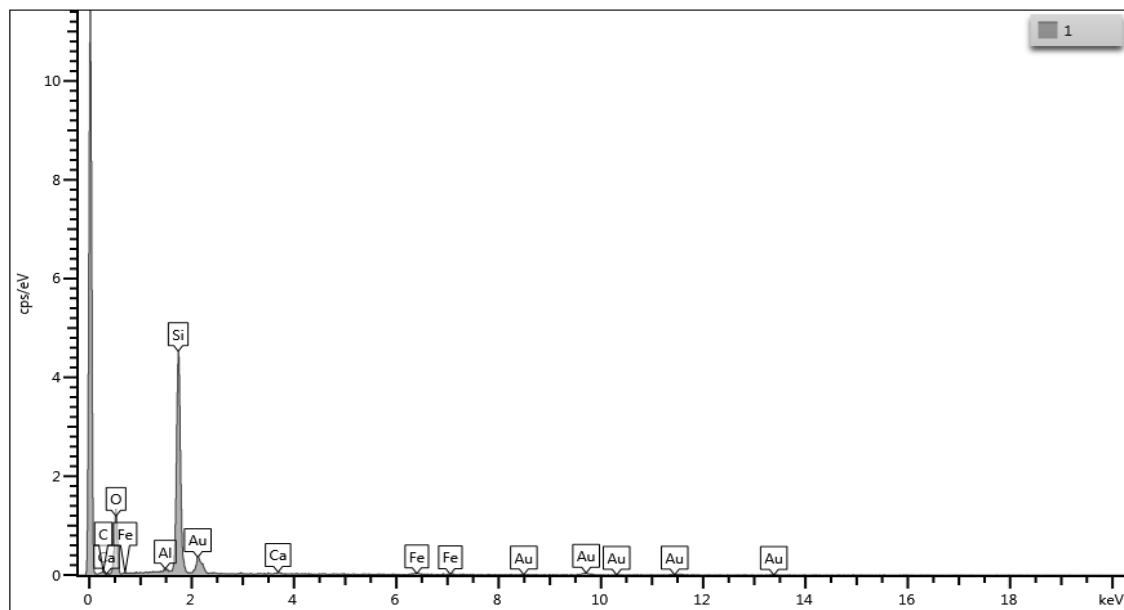


B

continua



C



D

a) Amostra 1 - Traço Referência; b) Amostra 2 com Pó de Pedra; c) Amostra 3 Traço Brita 1; d) Amostra 4 Traço Brita 0. Fonte: Autora (2022).

As Figuras 18 e 19 mostram as imagens MEV obtidas para os corpos de prova no segundo teste de concretagem. Neste segundo teste foram confeccionados apenas dois corpos de prova, o primeiro sendo o traço referência e o segundo substituindo-se 100% a areia natural pelo pó de pedra vindo da usina.

A micrografia dos agregados naturais (traço referência - Figura 18) mostra o formato dos grãos, que se apresentam de forma irregular com grãos arredondados e angulosos, característica do agregado natural. Na ampliação, observa-se a forma arredondada dos grãos, onde a determinação de água está relacionada, favorecendo a trabalhabilidade (SILVA, 2017a).

Já a micrografia obtida quando a areia natural foi substituída pelo agregado pó de pedra (traço 2 – Figura 19), a morfologia que envolve o uso desse agregado mostra partículas soltas entre as fibras, mostra também o coeficiente de finos e uma rugosidade, o que, segundo Silva (2005), favorece a aderência entre a pasta, mas aumenta o índice de absorção pela quantidade de finos, aumentando o consumo de água e diminuindo a trabalhabilidade do concreto.

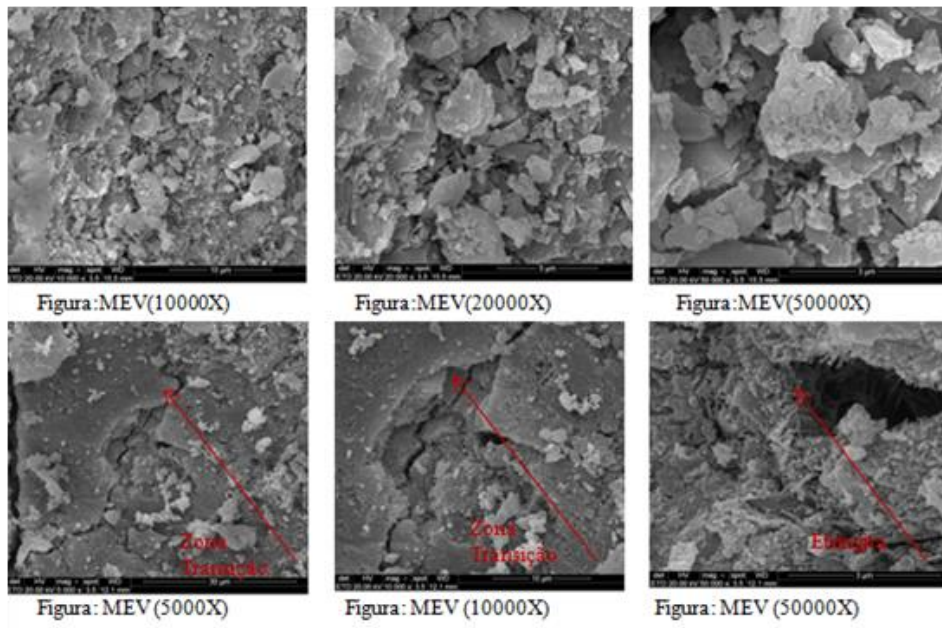
Na substituição da brita natural pela reciclada (traço 3 – Figura 16C), a morfologia mostra espaços de vazios entre a pasta. Por se tratar de agregado reciclado, contém a presença de cerâmica na pasta, ocasionando esses espaços de vazios devido à falta de aderência dos agregados. Também relacionado ao fator água/cimento, pode formar-se um filme de água em volta do agregado, onde se formam cristais tornando-se frágil à ruptura (METHA; MONTEIRO, 1994¹ *apud* SILVA, 2005).

Entretanto, quando o agregado natural é substituído pelo reciclado brita 0 (traço 4 - Figura 16D), a morfologia da figura mostra a heterogeneidade da pasta, apresentando espaços de vazios e rupturas entre a pasta e o agregado reciclado. Também mostra formatos de agulhas de etringita, composto químico mineral de sulfato de cálcio e alumínio hidratado. Esse composto forma-se nos primeiros momentos da hidratação do cimento, pela combinação dos sulfatos presentes, sendo sua formação uma das responsáveis pelo endurecimento do cimento. A formação da etringita pode ser classificada em dois tipos, dependendo do tempo de formação, a primeira: formada no período da hidratação, ligado ao fenômeno da pega; e a segunda denominada de etringita secundária: formada após o endurecimento do concreto, esta não é favorável podendo gerar patologias ao concreto devido a certas condições (METHA; MONTEIRO, 1994¹ *apud* SILVA, 2005).

Características da etringita também foram identificadas em trabalho semelhante (PAIVA, 2013). Na segunda amostragem realizada no presente estudo (Figuras 18 e 19), essa característica é mais evidente devido ao tipo de cimento utilizado, no qual foi o cimento CP V-ARI, cimento de alta hidratação inicial, o que torna o fenômeno da pega mais rápido. Mas a morfologia do agregado em relação ao grão apresenta um formato mais arredondado e textura rugosa e porosa.

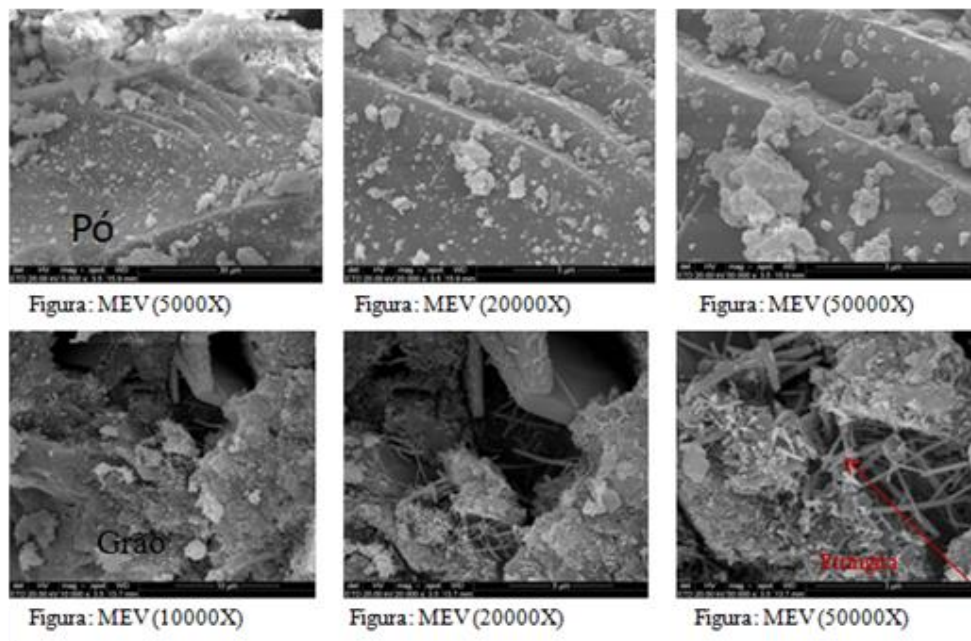
¹MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, Ed. Pini, p.573, 1994

Figura 18 – Micrografias obtidas por MEV para a amostra 1 (pó) - Traço Referência



Fonte: Autora (2022).

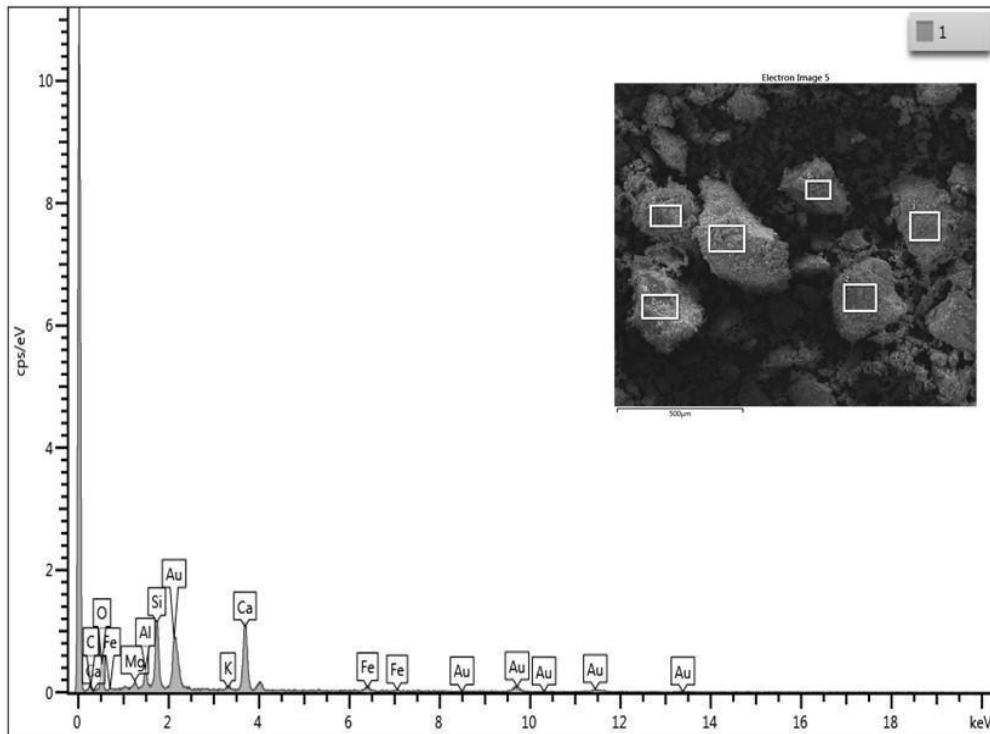
Figura 19 – Micrografias obtidas por MEV para a amostra 2 (pó e grão) - Traço 2



Fonte: Autora (2022).

A Figura 20 e a Tabela 33 trazem a imagem de MEV e dados obtidos com o acoplamento ao EDS, respectivamente, para a amostra Traço Referência na segunda concretagem.

Figura 20 – Imagem MEV com espectro EDS para a amostra Traço Referência obtida na segunda concretagem.



Fonte: Autora (2022).

Tabela 33 – Resultados obtidos por MEV-EDS para a amostra Traço Referência obtida na segunda concretagem

	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Máximo	21,08	53,00	6,14	5,45	14,15	1,86	25,04	4,53
Mínimo	9,96	43,89	1,67	1,09	2,90	0,82	9,35	1,78
Média	17,23	48,34		3,83	9,93		15,54	
Desvio padrão	5,19	4,29		1,50	3,99		5,52	

Fonte: Autora (2022).

Os resultados obtidos com o uso da técnica de EDS acoplada ao MEV mostram a composição atômica dos elementos presentes na pasta do concreto sendo possível identificar os elementos Ca, Si, e Al, como os de maior representatividade na composição. Esses dados corroboram com os resultados apresentados pela técnica de FRX.

5.6 RESULTADOS DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO

A avaliação ambiental está atrelada à composição química, que pode indicar o grau de periculosidade e toxicidade de um determinado produto, o qual, em contato com o meio, em exposição a intempéries, pode levar à lixiviação e, conforme o teor químico, pode ocorrer a contaminação do solo e cursos de água (KULAKOWSKI *et al.*, 2014).

A caracterização ambiental foi realizada com base em ensaios de lixiviação e de solubilização, conforme NBR 10005 (ABNT, 2004b) e 10006 (ABNT, 2004c), respectivamente. A seguir, o detalhamento dessas etapas.

5.6.1 Ensaio de Lixiviação

O ensaio de lixiviação, de acordo com a norma NBR 10005 (ABNT, 2004), é o processo de determinação da capacidade de transferência de substância orgânica e inorgânica presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator. O teste de lixiviação classifica o resíduo em Classe I ou Classe II, verificando o teor químico de acordo com a norma. Para este teste foram submetidas as amostras dos traços T1 (referência), T2 (pó de pedra), T3 (brita 1) e T4 (brita 0). No segundo teste, avaliaram-se as amostras T1 (referência) e T2 (pó de pedra), onde houve a alteração do tipo de cimento. Os dados obtidos após submeter as amostras acima ao teste de lixiviação estão apresentados nas Tabelas 34 e 35.

Tabela 34 – Resultados obtidos para o pH nas amostras submetidas ao teste de lixiviação durante a definição da solução extratora

Tipos	1º TESTE pH	2º TESTE pH
T1	11,73	12,41
T2	11,17	11,93
T3	11,51	
T4	11,63	

Fonte: Autora (2022).

A obtenção dos extratos lixiviados dos RCDs e traços T1, T2, T3, T4 foi descrito no capítulo 4.3.2.2 do item metodologia. Os extratos lixiviados (Tabela 35) apresentaram valores apenas para o elemento bário (Ba). Todos os demais elementos investigados (Ag, As, Cd, Cr, Se e Pb) do Anexo F (NBR 10004/04a) tiveram valores abaixo do Limite de Detecção (LD) do

equipamento. Mesmo tendo sido identificado o elemento Ba, no traço 1 do primeiro e do segundo teste e, no traço 2 do segundo teste, esses valores não ultrapassam o limite estabelecido pela NBR 10004 (ABNT, 2004a), anexo F, ou seja, o limite de 70 mg L⁻¹. Com isso, conclui-se que, com base no teste de lixiviação (NBR 10005), os traços de concreto contendo RCDs podem ser classificados como Resíduos Não Perigosos.

Tabela 35 – Resultados obtidos com aplicação do teste de lixiviação segundo NBR 10005. Resultados obtidos por ICP-OES.

	Concentração (mg L ⁻¹)						
	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Se	Pb
Branco	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
T1 - Teste1	<LD	<LD	0,099	<LD	<LD	<LD	<LD
T1 - Teste2	<LD	<LD	0,275	<LD	<LD	<LD	<LD
T2 - Teste1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
T2 - Teste2	<LD	<LD	0,0375	<LD	<LD	<LD	<LD
T3 - Teste1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
T4 - Teste 1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
LD^a	0,2432	0,0028	0,0001	0,0001	0,0002	0,0019	0,0018
Anexo F^b	5,0	1,0	70	0,5	5,0	1,0	1,0

^aLD – Limite de Detecção; ^bLimite NBR 10004. Fonte: Autora (2022).

5.6.2 Ensaio de solubilização

O objetivo deste teste é solubilizar substâncias contidas nos resíduos por meio de lavagem em meio aquoso (KULAKOWSKL *et al.*, 2016). Neste teste é possível classificar se o resíduo é Classe IIA (Inerte) ou Classe IIB (Não Inerte). Os testes de solubilização foram realizados segundo a NBR 10006 (ABNT, 2004c), seguindo as etapas descritas no item 4.3.2.3 do item metodologia. Nos testes de solubilização foram realizadas, assim como no teste de lixiviação, ensaios em duplicata das amostras. Os resultados obtidos para os extratos solubilizados estão apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 – Resultados obtidos com aplicação do teste de solubilização segundo NBR 10006 nos traços da primeira e da segunda concretagem. Resultados obtidos por ICP-OES.

	Concentração (mg L ⁻¹)							
	Ag	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe
Branco	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
T1 – 1ª C	<LD	3,37	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,202
T1 – 1ª C	<LD	2,01	<LD	0,4592	<LD	<LD	<LD	0,97
Média T1 – 1ª C	<LD	2,69	<LD	0,46	<LD	<LD	<LD	0,586
T1 – 2ª C	<LD	0,781	<LD	0,525	<LD	<LD	<LD	<LQ
T2 – 1ª C	<LD	5,17	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,625
T2 – 1ª C	<LD	5,19	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,95
Média T2 – 1ª C	<LD	5,18	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,788
T2 – 2ª C	<LD	1,24	<LD	0,296	<LD	<LD	<LD	<LD
T2 – 2ª C	<LD	1,306	<LD	0,266	<LD	<LD	<LD	<LD
Média T2 – 2ª C	<LD	1,27	<LD	0,281	<LD	<LD	<LD	<LD
T3 – 1ª C	<LD	4,52	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,403
T3 – 1ª C	<LD	4,29	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,292
Média T3 – 1ª C	<LD	4,40	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,35
T4 – 1ª C	<LD	0,604	<LD	0,2565	<LD	<LD	<LD	0,4277
T4 – 1ª C	<LD	1,088	<LD	0,324	<LD	<LD	<LD	<LD
Média T4 – 1ª C	<LD	0,85	<LD	0,29	<LD	<LD	<LD	0,43
LD^a	0,2432	0,0019	0,0028	0,0001	0,0001	0,0002	0,0026	0,0115
Anexo G^b	0,05	0,2	0,01	0,7	0,005	0,05	2	0,3

^aLD – Limite de Detecção; ^bLimite NBR 10004. Fonte: Autora (2022).

Os resultados dos testes de solubilização mostrados na Tabela 36 trazem a composição presente nas amostras. Com base nos elementos do Anexo G da NBR 10004 que foram investigados (Ag, Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu e Fe) somente foram quantificados em algumas amostras os elementos Al, Ba e Fe. Os demais elementos tiveram concentrações inferiores ao LD do equipamento. As concentrações obtidas para o elemento Ba foram todas inferiores ao limite estabelecido no Anexo G, ou seja, 0,7 mg L⁻¹. Entretanto, para os elementos Al e Fe, foram obtidas concentrações, em todas as amostras, superiores aos limites estabelecidos no Anexo G, ou seja, 0,2 e 0,3 mg L⁻¹, respectivamente. Logo, em função dos resultados obtidos para os elementos Al e Fe, conclui-se, com base no teste de solubilização, NBR 10006, que os traços de concreto contendo RCDs podem ser classificados como Resíduos Classe II A - Não Inertes.

Salienta-se que os resultados obtidos estão coerentes com o que já vem sendo obtido para este tipo de resíduo na literatura. Os resultados obtidos no ensaio de solubilização, neste estudo, foram similares aos obtidos em estudo feito por Lima e Cabral (2013) para os resíduos da construção civil da cidade de Fortaleza. Os autores também obtiveram valores que ultrapassaram os limites estabelecidos pelo Anexo G da NBR 10004 e, portanto, classificaram os resíduos da construção civil como Resíduos Classe II A - Não Inertes. Entretanto, para os autores, os elementos Cr, Cd, Pb e SO_4^{2-} foram os que ultrapassaram os limites do Anexo G, em todas as amostras investigadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reutilização dos resíduos através da reciclagem nunca foi tão importante como atualmente, em especial associado ao elevado volume de resíduos gerados e aos impactos provocados pela cadeia produtiva dos materiais. O elevado potencial de reaproveitamento dos RCDs permite buscar alternativas viáveis para sua aplicação como produto.

Os ensaios de caracterização dos resíduos, iniciando pelo ensaio granulométrico, seguindo do ensaio de massa unitária e massa específica, mostrou que o agregado reciclado apresenta algumas peculiaridades dependendo do tipo de resíduo. Neste caso, os RCDs foram classificados com um índice de materiais cinzas de aproximadamente 80% em relação ao material vermelho (cerâmicos). No entanto, apresentou um índice de massa unitária menor do que a norma, com um índice de vazios menor. Na massa específica apresentou-se um índice menor que a norma. Com isso, no cálculo do concreto, o índice de volume e vazios apresentados pelo agregado reciclado é menor, necessitando de uma quantidade um pouco maior do que do agregado natural.

Os ensaios do concreto possibilitaram entender a resistência mecânica por meio dos dois tipos diferentes de cimento. No primeiro ensaio foi usado o CP IV-32, o qual apresentou uma resistência à compressão de 34,09 MPa aos 28 dias, ficando abaixo do índice estabelecido pela norma. Entretanto, para um segundo ensaio, foi trocado o tipo de cimento para o CP V-ARI, cimento de alta resistência inicial e o percentual de aditivo passou para 2%, para reduzir a quantidade de água. Mesmo com essa alteração, houve uma diminuição da resistência à compressão para 25 MPa aos 28 dias ao se utilizar o RCD. Porém, com o agregado natural - traço referência, houve um aumento significativo da resistência mecânica à compressão com este tipo específico de cimento. Aos 60 dias foi realizado o teste de compressão no bloco de concreto com RCD obtendo-se uma resistência mecânica de 34,31 MPa, estando, portanto, mais próximo do estabelecido pela norma (35 MPa). Entende-se, desta forma, que para atingir a resistência mecânica à compressão estabelecida pela norma, há a necessidade de um tempo maior de cura.

A avaliação química com o emprego da técnica de FRX mostra que foi possível identificar e quantificar elementos típicos dessas estruturas e associados às matérias-primas utilizadas na confecção dos traços. Já a avaliação morfológica realizada por MEV-EDS mostrou também formas típicas dessas substâncias como, por exemplo, a formação de estrutura da etringita na pasta do cimento. Por meio dos testes ambientais de lixiviação e solubilização,

conclui-se que os RCDs fornecem lixiviados e extratos que classificam esses resíduos como Não Perigoso - Classe II e Não Inertes - Classe II A, respectivamente.

Quanto aos valores de resistência obtidos neste estudo, em análise a outros trabalhos semelhantes, observou-se que a maioria substitui um percentual bem abaixo dos 100% dos agregados naturais pelo reciclado. No entanto, este trabalho se propôs a substituir 100% do agregado natural e, mesmo assim, foi possível obter um resultado muito próximo da norma em termos de valor de resistência à compressão. Com essa última constatação, é possível concluir que os resíduos reciclados têm um grande potencial de uso com aplicação.

Avaliando-se ao que este trabalho se propôs, dentro dos objetivos específicos a avaliar diversos fatores como a composição quali-quantitativa dos RCDs que chegam à usina, a caracterização destes, tanto física, quanto química, morfológica e ambiental e, ainda, propor um traço com potencial para uso como bloco de pavimentação, entende-se que todos os objetivos propostos foram satisfatoriamente atendidos.

7 PRODUTOS TÉCNICOS

Esta pesquisa, Caracterização de Resíduos da Construção e Demolição em uma Usina de Reciclagem Visando à Aplicação como Pavimento para Calçamento, também inclusa dentro dos ODS - Agenda 2030 nos números: 9, 11, 12 e 15, dentro da linha de pesquisa Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento, gerou alguns produtos já executados. O primeiro refere-se à produção do bloco de concreto com RCD propriamente dito. O segundo refere-se a uma cartilha de orientação intitulada: Aplicação dos RCDs como Produto, cujo objetivo é atingir engenheiros, arquitetos, construtoras e também a sociedade em geral. A cartilha tem base técnica, mas possui uma abordagem de fácil entendimento. O terceiro e o quarto são classificados como produto de comunicação, como segue:

- ✓ Feira do Pinhão, onde o PPGAS disponibilizou um estande para divulgação dos trabalhos. Neste dia foram levados para visualização da população o bloco, um banner e entrega de folder de divulgação;
- ✓ Entrevista na Rádio Comunidade FM intitulada “Blocos para Pavimentação com Resíduos da Construção e Demolição- RCDs”;

Os produtos foram classificados com base em documento norteador da CAPES para produções técnicas (BRASIL, 2019). Será abordado cada produto citado.

7.1 PRODUTO 1 – PRODUÇÃO DO BLOCO DE CONCRETO COM RCD

Figura 21 – Imagem com o bloco de concreto e os corpos de prova produzidos na dissertação



Fonte: Autora (2022).

Descrição da tecnologia social e sua finalidade:

A produção do bloco de concreto de RCD é o principal produto deste estudo, tendo uma abrangência social, ambiental e econômica na sociedade como um todo.

Autorias:

Docentes: Dra. Suzana F. Ferrarini, orientadora e professora permanente do PPGAS/UERGS e Dr. Marcelo O. Caetano, coorientador e professor permanente da UNISINOS.

Discente: Mestranda Giane Alves Mello, Mestrado profissional em Ambiente e Sustentabilidade (PPGAS/UERGS).

Avanços Tecnológicos/grau de novidade

Os resultados deste trabalho representam uma inovação tecnológica na reutilização dos resíduos como material.

Linha de pesquisa vinculada às tecnologias:

Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento.

7.2 PRODUTO 2 – PRODUTO DE TECNOLOGIA DE ORIENTAÇÃO – CARTILHA DE ORIENTAÇÃO

Descrição da tecnologia de orientação e sua finalidade:

A produção do Bloco de RCD é o principal produto, sendo que a parte experimental está voltada para o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem dos RCDs, divulgada através de uma cartilha de orientação, voltada a gestão municipal, engenheiros, arquitetos e população em geral.

Avanços Tecnológicos/grau de novidade

Os resultados deste trabalho representam uma inovação tecnológica na reutilização dos resíduos como material.

Autorias:

Docentes: Dra. Suzana F. Ferrarini, orientadora e professora permanente do PPGAS/UERGS e Dr. Marcelo O. Caetano, coorientador e professor permanente da UNISINOS.

Discente: Mestranda Giane Alves Mello, Mestrado profissional em Ambiente e Sustentabilidade (PPGAS/UERGS).

Projeto de pesquisa voltado às tecnologias:

Sustentabilidade ambiental e reutilização dos resíduos RCD.

Linha de pesquisa vinculada às tecnologias:

Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento.

Situação atual da tecnologia de orientação:

Finalizado/implantado.

Total de investimento:

Sem financiamento

Fonte do Financiamento:

Sem financiamento.

Descrição da Abrangência Realizada:

A cartilha foi vinculada a um site onde, qualquer pessoa com o link terá acesso.

Descrição da Abrangência potencial:

Devido à problemática de geração de resíduos da construção civil, esta cartilha servirá como divulgação e orientação para construtoras, engenheiros e arquitetos diretamente ligados à construção, como incentivo ao reaproveitamento dos RCDs e o descarte de forma correta.

Descrição da Replicabilidade:

A cartilha tem embasamento técnico, mas de fácil entendimento podendo ser seguido por futuros profissionais da área da construção.

Título da Tecnologia de Orientação:

Aplicação dos RCDs na Produção de um bloco de concreto para pavimentação.

Tipo de Tecnologia:

Produto material.

Finalidade:

Reaproveitamento dos RCD.

Linha de pesquisa/atuação:

Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento.

Equipe de Realização:

Giane Alves Mello, Dra. Suzana F. Ferrarini, Dr. Marcelo O. Caetano.

Possui potencial de inovação de produtos de inovação, processos ou serviços?

Sim

Qual o potencial de inovação?

O reaproveitamento dos RCD e suas caracterizações físicas, químicas e ambientais.

A produção necessita estar em repositório?

Sim

Figura 22 – Apresentação Cartilha



Disponível em: <https://www.flipsnack.com/56EA95FF8D6/aplica-o-do-rcd-como-bloco-de-concreto-para-pavt-de-cal-adas-c5sv3iitk5.html>

Fonte: Autora (2022).

7.3 PRODUTO 3 – EXPOSIÇÃO DO TRABALHO NA FEIRA DO PINHÃO

Figura 23 – Banner de Apresentação dos RCD na Aplicação do Bloco para Pavimentação



Fonte: Autora (2022).

Figura 24 – Imagem com apresentação do material, colegas do mestrado e a Prof^ª Dra. Suzana Ferrarini, orientadora.



Fonte: Autora (2022).

Definição:

A apresentação do produto desenvolvido no mestrado e apresentação dos agregados RCD aos gestores do município de São Francisco de Paula e a população e cidades vizinhas. Com objetivo de levar a conhecimento o que está sendo produzido dentro da universidade. E tornar conhecido a problemática dos RCD e como a reciclagem pode transformar e levar a um novo material beneficiando a sociedade.

Descrição do Produto de Comunicação e sua Finalidade:

Atividade de exposição no estande da Uergs, na feira do pinhão na cidade de São Francisco de Paula, 10, 11 e 12 de junho de 2022. Foram dispostos um banner de apresentação do trabalho e amostras com agregados reciclados da construção e demolição (RCD). Apresentando para quem entrasse no estande o trabalho e também um folder com divulgação do RCD.

Divulgação:

A divulgação foi realizada por meio de cards da festa do pinhão, na rádio da comunidade FM de São Francisco de Paula, pela Uergs nas redes sociais e pelo Programa de Pós-graduação em Ambiente e Sustentabilidade:

<https://www.facebook.com/uergssaochico/posts/pfbid02HkN86FCzZinR19uvKTf62NLTjyaMH1CUS3tagtN5musXA2zjYKAucftrtPcWZYCEl>

https://www.instagram.com/p/CewadTFuBzN/?utm_source=ig_web_copy_link

<https://www.facebook.com/ppgasuergs/posts/pfbid02pTugM8ZPDYvarj7BRjWySyfMor4UdJynTDNZ5m9p5tknQ9eGmP8PEcZjVMQ13kSpl>

Avanços Tecnológicos/grau de novidade

A exposição no estande trouxe novidades pela produção de um material com RCD sendo apresentado à sociedade como um novo produto a partir dos RCDs.

O Produto de Comunicação foi resultado do trabalho realizado pelo PPGAS?

Sim

Autorias:

Docentes: Dra. Suzana F. Ferrarini, orientadora e professora permanente do PPGAS/UERGS e Dr. Marcelo O. Caetano, coorientador e professor permanente da UNISINOS.

Discente: Mestranda Giane Alves Mello, Mestrado profissional em Ambiente e Sustentabilidade (PPGAS/UERGS).

Conexão com a Pesquisa

Atividade vinculada ao projeto “Caracterização de Resíduos da Construção e Demolição em uma Usina de Reciclagem Visando a Aplicação como Pavimento para Calçamento”.

Cadastrado na Uergs Mestrado Profissional, com a linha de pesquisa Tecnologias Sustentáveis para o Desenvolvimento, vinculado ao trabalho de conclusão.

Situação atual do produto de comunicação:-

Concluído

Aplicação do Produto de Comunicação:

A exposição em feiras é importante pela divulgação e conscientização da população sobre os RCDs e sua aplicação como produto.

Descrição da abrangência potencial:

Abrangência acadêmica, construtoras, gestão municipal, profissionais da área e sociedade em geral.

Documentos Anexados:

Não há.

7.4 PRODUTO 4 – ENTREVISTA NA RÁDIO COMUNIDADE FM 87.9 – PROGRAMA FALA SERRANO

Figura 25 – Divulgação da entrevista na rádio



Fonte: Autora (2022).

Definição:

A atividade de caráter de divulgação teve como objetivo apresentar aos gestores, construtores e população geral de São Francisco de Paula e arredores, a problemática dos RCDs e a aplicação de sua reutilização na forma de um bloco de concreto para pavimentação de calçadas.

Descrição do Produto:

A entrevista na rádio comunidade FM 89,7 intitulada blocos para pavimentação com resíduos da construção e demolição- RCD, foi realizada no dia 15 de junho de 2022, no programa “Fala Serrano” com o radialista Carlos Adriane Padilha. A entrevista se deu de forma online via WhatsApp, com início às 11h com duração de aproximadamente 30 minutos. O espaço na mídia permitiu de forma informal, divulgar o trabalho desenvolvido no mestrado, apresentando os resultados obtidos.

Avanços Tecnológicos/grau de novidade

A relevância social e de educação ambiental nas questões dos descartes dos RCDs pela população.

O Produto de Comunicação foi resultado do trabalho realizado pelo PPGAS?

Sim

Autorias:

Docentes: Dra. Suzana F. Ferrarini, orientadora e professora permanente do PPGAS/UERGS e Dr. Marcelo O. Caetano, coorientador e professor permanente da UNISINOS.

Discente: Mestranda Giane Alves Mello, Mestrado profissional em Ambiente e Sustentabilidade (PPGAS/UERGS).

Conexão com a Pesquisa:

Está totalmente relacionado com a pesquisa, com uma linguagem menos formal, mas de forma prática apresentando a problematização e os resultados.

Situação atual do produto de comunicação:

Concluído e disponível nos veículos de comunicação:

<https://www.facebook.com/101837858204257/photos/pb.100063574512595.-2207520000./551021576619214/?type=3>

<https://open.spotify.com/episode/0cdZjCa1eWqOB9iwUZPPPg>

Aplicação do Produto de Comunicação:

Esse produto é de fácil abrangência, uma forma de levar a população os acontecimentos da universidade.

Descrição da Abrangência potencial:

Possui grande potencial, sendo que pode atingir de forma rápida ao maior número de pessoas possível.

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado**. São Paulo: ABCP, 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 9776**: Agregados. Método para Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos para Concreto para o Frasco Chapman: ABNT, 1976.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 9780**: Peças de Concreto para Pavimentação. ABNT, 1987.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 03 maio 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10005**: Procedimento para Obtenção de Extrato Lixiviado de Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10006**: Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle, Recebimento e Aceitação- Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT – 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, 2004a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. Disponível em: https://freitag.com.br/files/uploads/2018/01/portaria_norma_473.pdf. Acesso em: 03 maio 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto: Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT,

1994. Disponível em: <http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001169-522fc532a8/NBR%205739%20-%20Concreto%20-%20Ensaio%20de%20Compress%C3%A3o%20de%20Corpos-de-pro.pdf>. Acesso em: 03 maio 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6465**: Agregado – Determinação da Abrasão. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7207**: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para Concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%207212%20-%202012_aula_sitepuc.pdf. Acesso em: 03 mai. 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7217**: Agregado – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7810**: Agregado em Estado Compactado Seco – Determinação da Massa Unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45:2006**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 53:2003**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2006b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM 26**: Agregado Graúdo –Estabelece Procedimentos para Amostragem de agregados, desde sua extração e redução até seu Armazenamento: ABNT, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM 27**: Agregado Graúdo –Redução da Amostra de Campo para Ensaio de Laboratório: ABNT, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM 51**: Agregado Graúdo – Ensaio Abrasão 'Los Angeles. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b.

ABRECON – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLICAÇÃO. **Relatório – Pesquisa Setorial 2014/2015.** ABRECON, 2015. Disponível em: https://www.dropbox.com/s/v2tqioztnud2asg/relatorio-pesq2015_abrecon-read.pdf?dl=0. Acesso em: 27 abr. 2021.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS; **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019.** São Paulo: ABRELPE, 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 02 maio 2021.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020.** São Paulo: ABRELPE, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 02 maio 2021.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021.** São Paulo: ABRELPE, 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>.

ALMEIDA, Jalcione. Da ideologia do progresso à ideia de desenvolvimento (rural) sustentável. In: ALMEIDA, Jalcione; NAVARRO, Zander (org.). **Reconstruindo a agricultura:** ideias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável. Porto Alegre: UFRGS, 1997.

ARAÚJO, Neuber Nascimento de. **Performance of mortar coating produced with recycled aggregates derived from construction and demolition waste (CDW) produced in the Grande Natal-RN.** 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Mecânica das estruturas, estruturas de concreto e alvenaria e materiais e processos construtivos) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

ARNOLD, Daiana Cristina Metz. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas.** 2011. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

AZEREDO, Luiz Cesar Loureiro. **Apontamentos sobre a população do Brasil.** Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2012.

BARBOSA, Eduardo Samuel da Costa; BARBOSA, Flavio Gabriel Romani; BASSI, Viviane Barbosa. **Pavimentação com blocos intertravados de concreto.** 2021. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação e Especialização em Engenharia Civil) – UNA, Pouso Alegre, 2021.

BERNARDES, A. et al. Quantificação e Classificação dos Resíduos da Construção e Demolição Coletados no Município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, jul./out. 2008.

BERQUE, Augustin. Paysage-Empreinte, Paysage-Matrica: Éléments de problématique pour une géographie culturelle. **L'Espace géographique**, n. 13, v. 1, p. 33-34, 1984. Disponível

em: https://www.persee.fr/doc/spgeo_0046-2497_1984_num_13_1_3890. Acesso em: 25 abr. 2021.

BLANCO, Guilherme, Soares, MENDES, Luana, Ferreira (Or). *Análise Mecânica em Concretos com Aditivos Acelerador de Pega- Trabalho de Conclusão*. Centro Universitário do Sul de Minas- **UNIS/MG**, 2018.

BRASIL. **18º Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretária Nacional de Saneamento, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, [2020]. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf. Acesso em: 28 abr. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm#:~:text=1o%20Esta%20Lei%20institui,poder%20p%C3%ABablico%20e%20aos%20instrumentos. Acesso em: 10 maio 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.503**, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: Presidência da República, [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm. Acesso em: 10 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - **CAPE**S. Produção técnica: Grupo de trabalho. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 08 maio 2021.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Pavimentação**. Brasília: DNIT, [2006]. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimentacao_05.12.06.pdf. Acesso em: 04 maio 2021.

CAETANO, Marcelo Oliveira; LAMBIASE, Fernanda Bonini; GOMES, Luciana Paulo. Composição dos RCD gerados em etapa de pós obra originadas de correções patológicas em edificações verticais. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**: Investigación, desarrollo y práctica, v. 9, n. 3, p. 331-348, dez. 2016. Disponível em: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/53207/51290>. Acesso em: 27 abr. 2021.

CAETANO, Marcelo Oliveira; SELBACH, João Batista Oliveira; GOMES, Luciana Paulo. Composição gravimétrica dos RCS para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais. **Ambiente Construída**, v. 16, n. 2, p. 51-67, abr./jun. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v16n2/1678-8621-ac-16-02-0051.pdf>. Acesso em: 09 maio 2021.

CASTELLO, Lineu. A Percepção em Análises Ambientais: O Projeto MAB/UNESCO em Porto Alegre. *In*: DEL RIO, Vicente; OLIVEIRA, Lívia de (org.). **Percepção ambiental a experiência brasileira**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1999, p. 23-37.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Vendas de imóveis no Brasil sobem 8,4% em 2020, mesmo sob impacto da COVID-19. **Agência CBIC**, 23 novembro 2020. Disponível em: https://cbic.org.br/es_ES/vendas-de-imoveis-no-brasil-sobem-84-em-2020-mesmo-sob-impacto-da-covid-19-2/#:~:text=Apesar%20dos%20impactos%20causados%20pela,mesmo%20per%C3%ADodo%20do%20ano%20passado. Acesso em: 25 abr. 2021.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - ARTERIS. Massa Específica e Absorção de Agregados Finos - Designação **ARTERIS T 84 – 13**. 2016.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna - Microscopia Eletrônica de Varredura- Aplicação e Preparação de Amostras – Materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Centro de Microscopia Eletrônica e Microanálise (CEMM) do IDEIA PUCRS. **EdiPUCRS**, Porto Alegre, 2007.

DING, T.; XIAO, J. Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai. **Waste Management**, v. 34, p. 2327-2334, 2014.

FERREIRA, J. S. W. A cidade para poucos: breve história da propriedade urbana no Brasil. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL: INTERFACES DAS REPRESENTAÇÕES URBANAS EM TEMPOS DE GLOBALIZAÇÃO, 2005, Bauru. **Anais...** Bauru: FAU Unesp Bauru / SESC Bauru, 2005.

FIORITI, Cesar Fabiano; INO, Akemi; AKASAKI, Jorge Luís. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 43–54, out./dez. 2007.

FLEURY, Lorena Cândido; ALMEIDA, Jalcione; PREMEBIDA, Adriano. O ambiente Como Questão Sociológica: Conflitos Ambientais em Perspectiva. **Sociologias**. Porto Alegre, ano 16, n. 35, p. 34-82, jan/abr. 2014.

FREITAS, Juarez. **Sustentabilidade direito ao futuro**. 4. ed. Belo Horizonte: Fórum, 2019.

GLOBO CIÊNCIA. Construção civil consome até 75% da matéria-prima do planeta. **Globo Ciência**, 28 junho 2014. Disponível em: <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75da-materia-prima-do-planeta.html>. Acesso em: 26 abr. 2021.

GOLDEMBERG, José. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2012.

HOGAM, Daniel Joseph; MARANDOLA, Eduardo Jr.; OJIMA, Ricardo. GOLDEMBERG, José (Coor). População e Ambiente: Desafio à Sustentabilidade, São Paulo: **Ed. Blucher**, 2010. 105p. Série Sustentabilidade, v.1.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA. **IBGE**, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA. **Canoas**. IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/canoas/panorama>. Acesso em: 27 abr. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**, 2022.
Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>

JABBOUR, Ana Beatriz Lopes de Sousa. Evidências da relação entre a evolução da gestão ambiental e a adoção de práticas de *green supply chain management* no setor eletroeletrônico brasileiro. **Rev. Adm.**, v. 49, n. 3, p. 606-616, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0080-21072014000300013&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 11 maio 2021.

KERN, Andrea Parisi; DIAS, Michele Ferreira; KULAKOWSKI, Marlova Piva; GOMES, Luciana Paulo. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, v. 39, p. 35-44, maio 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X15000823>. Acesso em: 30 abr. 2021.

KHARRUFA, Sahar. Reduction of building waste in Baghdad Iraq. **Building and Environment**, v. 42, 5, pg. 2053-2061. 2007.

KULAKOWSKI, Marlova, Piva; BREHM, Feliciane, Andrade; KASMIERCZAK, Claudio de, Souza; LUNKES, Mariele. Contribuição à Avaliação Ambiental de Materiais e Componentes Construtivos: Proposta de Método para Obtenção de Extrato Lixiviado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n 4, p. 69-81, Out./Dez. 2014.

LAZZERIS, Filipe Derkacz; ALIONÇO, Hugo; DUARTE, Thiago Roberto Schuertes. **Estudo de viabilidade técnica da produção de blocos de concreto de alta resistência com uma blenda de pe+pet para uso em pavimentação intertravada**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/7974/1/CT_COECI_2019_2_01.pdf. Acesso em: 07 mai. 2021.

LLATAS, C. A Model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1261–1276, 2011.

MARTINE, George; MCGRANAHAN, Gordon. A transição urbana brasileira: trajetória, dificuldades e lições aprendidas. *In*: BAENINGER, Rosana (org.). **População e cidades: subsídios para o planejamento e para as políticas sociais**. Campinas: Núcleo de Estudos de População; Brasília: UNFPA, 2010.

MAULEN, Isabela; MARINHO, Caíque; ETEROVIC, Roko. **ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis**. 2019. Trabalho Acadêmico (Pós-Graduação em Administração; Pós-Graduação em Economia) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/5-cidades-sustentaveis.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

MEHTA, P. Kumar.; MONTEIRO, Paulo. J. M. Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais. 2 Ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MELHADO, Ana Rocha. **Sustentabilidade nas Obras e nos Projetos**. São Paulo: Pini, 2012.

MESQUITA, Leonardo Carvalho; AZEVEDO, Izabel Christina d'Almeida Duarte de; CÂNDIDO, Eduardo Souza; CATHOUD, Gabriel Almeida. Análise da Viabilidade Técnica de Utilização de Resíduos de Construção e Demolição na Fabricação de Blocos de Vedação. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 3, p. 30-40, 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/17452/1/artigo.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2021.

OLIVEIRA FILHO, J. E. Gestão ambiental e sustentabilidade: um novo paradigma econômico para as organizações modernas, **DOMUS ON LINE: Rev. Teor. Pol. Soc., Cidad.** Salvador, v. 1, n. 1, p. 92-113. jan./jun., 2004. Disponível em: < <https://fbb.br/wp-content/uploads/2021/12/Gestao-ambiental-e-sustentabilidade-Um-novo-paradigma-economico-para-as-organizacoes-modernas.pdf> >. Acessado em 27 de agosto de 2022.

OLIVEIRA, M. E. D. de et al. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 3, 219-224, jul./set. 2011a.

OLIVEIRA, Mário Mendonça de. **Tecnologia da Conservação e da Restauração: Materiais e estruturas**. 4. ed. rev. e ampl. Salvador: EDUFBA; PPGAU, 2011b. Disponível em: <http://www.edufba.ufba.br/2011/12/tecnologia-da-conservacao-e-da-restauracao-materiais-e-estruturas-4%C2%AA-ed/>. Acesso em: 18 abr. 2021.

OLLIVIER, J. P., **Durability of concrete**: Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção civil, BT/PCC/192. São Paulo, 1998.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. **ONU News**, 19 fevereiro 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701#:~:text=Segundo%20a%20ONU%2C%20atualmente%2055,implementando%20processos%20de%20pol%C3%ADticas%20descentralizadas>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PAIVA, Emanuel Henrique Gomes. **Avaliação do concreto de cimento portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Mecânica das estruturas, estruturas de concreto e alvenaria e materiais e processos construtivos) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

PARIS, M. E.; LINKE, V. B.; MUELLER, A. A.; KELM, M. L.; GRZYBOVSKI, D.; Santo Augusto Entre Idas e Vindas: Análise dos Movimentos Migratórios ocorridos em uma Perspectiva Histórica. **Revista Grifos**, 2017; E-ISSN:2175-0157

PASCHOALIN FILHO J.A., STOROPOLI, J. H. & DUARTE, E. B. L. (2014). Viabilidade econômica da utilização de resíduos de demolição reciclados na execução do contrapiso de um edifício localizado na zona leste da cidade de São Paulo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET/UFSM**, 18(2), 928-943, ISSN 2236-1170, Universidade Federal de Santa Maria, doi:10.5902/2236117013750.

PATRÍCIO, S. M. R.; FIGUEIREDO, S. S.; BEZERRA, I. M. T.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Blocos solo-cal utilizando resíduo da construção civil. **Cerâmica**, n. 59, p. 27-33, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v59n349/a03v59n349.pdf>. Acesso em: 08 maio 2021.

PETRUCCI, Eladio G.R. *Materiais de Construção* - Editora Globo- POA, 1978

PORTO ALEGRE. **Lei Complementar nº 12, de 07 de janeiro de 1975**. Institui posturas para o Município de Porto Alegre e dá outras providências. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, [1975]. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=176914#:~:text=%C3%89%20proibido%20nos%20logradouros%20p%C3%BAblicos,um%20a%20cinco%20sal%C3%A1rios%20m%C3%ADnimos>. Acesso em: 06 maio 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CANOAS. **Empresa que construirá usina de reciclagem em Canoas entra em operação**. Assessoria de Comunicação, 03 abril 2019. Disponível em: <https://www.canoas.rs.gov.br/noticias/empresa-que-construira-usina-de-reciclagem-em-canoas-entra-em-operacao/>. Acesso em: 04 maio 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 14.528, de 16 de abril de 2014**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Porto Alegre: Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul, [2014b]. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/LEI%2014.528.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul 2015-2034**. Porto Alegre: FEPAM, 2014a. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos>. Acesso em: 27 abr. 2021.

RODOLPHO, Paula Medeiros. **Estudo do comportamento do concreto no estado fresco contendo areia britada**. 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet. **Metrópoles e o Desafio Urbano**. v. 6, 1. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

RONCAGLIO, Cynthia *et. al.* **Desenvolvimento Sustentável**. Curitiba: Brasil, 2012.

SANTOS, Thais dos, Ferreira; FERNANDES, Maria, Eduarda; GONÇALVES, Erika Peterson. Pavimento Intertravado Permeável com Resíduos da Construção Civil e Microesferas de Parafina. **Revista Univap**, [S. l.], v. 22, n. 40, p. 551, 2017. DOI: 10.18066/revistaunivap.v22i40.1177. Disponível em: <https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/1177>. Acesso em: 1 dez. 2022.

SANTOS, Adriana Goulart dos; CAGNETI, Carina; MICHELS, Bianca. Avaliação da resistência mecânica de blocos de concreto para pavimentação usando em sua composição agregado miúdo reciclado. *In*: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 28, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://livrozilla.com/doc/688748/avalia%C3%A7%C3%A3o-da-resist%C3%A2ncia-mec%C3%A2nica-de-blocos>. Acesso em: 04 mai. 2021.

SANTOS, Matheus Henrique Silva; MARCHESINI, Márcia Maria Penteado. Logística Reversa para a Destinação Ambientalmente Sustentável dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 8, n. 2, p. 67-85, mai./ago., 2018. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/1359/pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

SBR – SOLUÇÕES EM BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS E COMÉRCIO LTDA. **Canoas inaugura centro de tratamento para RCC e volumosos.** SBR, 24 junho 2020. Disponível em: <https://sbrreciclagem.com.br/pt/imprensa.asp?codigo=43>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SBR – SOLUÇÕES EM BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS E COMÉRCIO LTDA. **Quem Somos.** SBR, [201-?]. Disponível em: <https://sbrreciclagem.com.br/pt/empresa.asp?codigo=1>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SEGRE, Roberto. **América Latina Fim de Milênio.** São Paulo: Nobel, 1991.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade.** 6. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

SILVA, Guilherme Jorge Brigolini. **Estudo do comportamento do concreto de cimento portland produzido com a adição do resíduo de polimento do porcelanato.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SILVA, Fabiana Maria da; VAZ, Viviane Visnardi; BARBOSA, Luisa Andreia Gachet; LINTZ, Rosa Cristina Cecche. Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS). **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, 2017a. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rmat/v22n1/1517-7076-rmat-22-01-e11778.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

SILVA, Welighda Christia da; SANTOS, Gilmar Oliveira; ARAÚJO, Weliton Eduardo Lima de. Resíduos sólidos da construção: caracterização, alternativas e reuso e retorno econômico. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 286-301, jul./set. 2017b.

SILVA, Cristina Vitorino da. **Práticas de Laboratório.** Erechim: URI, [201-?]. Disponível em: https://www.uricer.edu.br/cursos/arq_trabalhos_usuario/3795.pdf. Acesso em: 25 abr. 2021.

TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2012.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. A Sustentabilidade dos Materiais de Construção. **Vilaverdense Artes Gráficas Ltda**, 2010- ISBN: 978-972-8600-22-8.

UGIONI, Vinicius Marcos. **Análise das propriedades mecânicas do concreto produzido com substituições parciais e totais dos agregados graúdos e miúdos por agregados reciclados.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

WRIGHT, Frank Lloyd. **An Autobiography.** Londres; Nova Iorque; Toronto: Longmans; Green and Co., 1938.

ZILBERMAN, Isaac. **Introdução à Engenharia Ambiental.** Canoas: ULBRA, 1997.