

UNIVERSIDADE CESUMAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA LIMPAS

BRUNA PIETROSKI DE LIMA

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS NATURAIS E  
CIMENTO POR AGREGADOS RECICLÁVEIS NA  
PRODUÇÃO DE REVESTIMENTOS CIMENTÍCIOS**

MARINGÁ

2022

BRUNA PIETROSKI DE LIMA

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS NATURAIS E  
CIMENTO POR AGREGADOS RECICLÁVEIS NA  
PRODUÇÃO DE REVESTIMENTOS CIMENTÍCIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da Universidade Cesumar, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Limpas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Natália Ueda Yamaguchi  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rute Grossi Milani

MARINGÁ  
2022

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732s    Lima, Bruna Pietroski de.  
          Substituição parcial de agregados naturais e cimento por agregados  
          recicláveis na produção de revestimentos cimentícios / Bruna Pietroski de Lima.  
          – Maringá-PR: UNICESUMAR, 2022.  
          70 f. : il. ; 30 cm.

          Orientadora: Profa. Dra. Natália Ueda Yamaguchi.  
          Coorientadora: Profa. Dra. Rute Grossi Milani.  
          Dissertação (mestrado) – Universidade Cesumar - UNICESUMAR,  
          Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, Maringá, 2022.

          1. Construção civil. 2. Resíduos da Construção Civil (RCC). 3.  
          Sustentabilidade. I. Título.

CDD – 628.4

Roseni Soares – Bibliotecária – CRB 9/1796  
Biblioteca Central UniCesumar

Ficha catalográfica elaborada de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**BRUNA PIETROSKI DE LIMA**

**Substituição parcial de agregados naturais e cimento por agregados recicláveis  
na produção de revestimentos cimentícios**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da  
Universidade Cesumar, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em  
Tecnologias Limpas pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

**COMISSÃO JULGADORA**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Natália Ueda Yamaguchi**  
Universidade Cesumar (Presidente)

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edneia Aparecida de Souza Paccola**  
Universidade Cesumar

---

**Prof. Dr. Willian Luis de Oliveira**  
Universidade Estadual de Maringá

Aprovado em: 14 de dezembro de 2022.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida.

A Universidade Cesumar, por ter-me possibilitado desenvolver este trabalho.

A Universidade Cesumar (UNICESUMAR), pela concessão da bolsa de estudos institucional.

A orientadora Professora Doutora Natália Ueda Yamaguchi

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas / UNICESUMAR pelos valiosos ensinamentos.

Aos funcionários do laboratório de engenharia civil, pelo auxílio na realização das análises.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

A minha mãe, meu maior exemplo de determinação e perseverança.

A minha família, que sempre me apoiou, especialmente à Ana Clara Pietroski e Thais Egler pelo auxílio.

## RESUMO

A construção civil é responsável por representativa parcela da economia do país, movimentando uma forte cadeia produtiva, alavancando o crescimento econômico, gerando grande parcela de empregos e renda. Porém, também é causadora de um alto consumo de matéria prima extraída no mundo, como elevada emissão de gases de efeito estufa e parte significativa da geração de resíduos sólidos. Em 2020, foram coletados no Brasil, cerca de 47 milhões de toneladas de resíduos da construção civil (RCC). Buscando minimizar os impactos gerados pelo setor, uma das opções para uma construção civil mais sustentável é a reciclagem dos resíduos, reintroduzindo-os como matéria prima, o que contribui para a redução da escassez de recursos naturais, convertendo resíduos em novos materiais. A presente pesquisa teve como objetivo contribuir para um desenvolvimento mais sustentável, reinserindo resíduos de revestimentos cimentícios produzidos por uma empresa do sul do Brasil, no próprio processo produtivo de novos revestimentos, utilizando-os como agregado reciclado na substituição parcial de agregados naturais e cimento. Para isso, foram estudadas as características dos agregados reciclados, bem como, as características físicas dos revestimentos cimentícios, os quais foram fabricados utilizando 16 teores diferentes de substituição, tanto de agregado natural, quanto de cimento, constatando melhores características físicas para a substituição de 30% de cimento e 25% de agregados naturais. Por fim, avaliou-se a redução do consumo de agregados naturais e cimento, com a substituição parcial destes, resultando em uma diminuição de 1,44% dos gastos em relação à matéria prima. Por meio da pesquisa, pode-se comprovar a viabilidade da substituição parcial de agregados naturais e cimento por agregados reciclados, pois se obteve uma melhora significativa na resistência à flexão dos revestimentos quando comparados aos sem substituição. Portanto, pode-se contribuir para um desenvolvimento mais sustentável da indústria da construção civil, reinserindo materiais que antes eram considerados resíduos, como agregados reciclados, assim dando origem a novos produto e minimizando os impactos ambientais por eles causados.

Palavras-chave: construção civil; RCC; sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

### **PARTIAL REPLACEMENT OF NATURAL AGGREGATE AND CEMENT BY RECYCLABLE AGGREGATE IN THE PRODUCTION OF CEMENT TILE COATINGS**

Civil construction is responsible for a large part of the country's economy, sustaining a strong production chain and leveraging economic growth, which generates jobs and income. However, it is also responsible for a high consumption of feedstock extracted worldwide, such as elevated emission of greenhouse gases as well as a significant amount of solid waste generation. In 2020, about 47 million tons of construction and demolition waste (CDW) was collected in Brazil. Seeking to minimize the impacts generated by the sector, one of the options for a more sustainable civil construction is the residue recycling, which aims to reintroduce them as feedstock, contributing to the reduction of natural feedstock's scarcity and converting residues into resources. For developing countries, the use of recycled aggregates can be an opportunity to combine economy, sustainability and the environment. Therefore, this research aims to contribute to a more sustainable development, reinserting residues from cement-based coatings produced by a company in the south of Brazil, into the production of new coatings, using them as recycled aggregate in the partial replacement of natural aggregates and cement. For this, the characteristics of the recycled aggregates were studied, as well as the physical characteristics of the cement-based coatings, which were manufactured using different substitution contents of natural aggregate and cement. Ultimately, the reduction in the consumption of natural aggregates and cement was evaluated, taking into account their partial replacement. Through this investigation it was possible to prove the feasibility of the partial replacement of natural aggregates and cement for recycled aggregates, as a significant improvement was obtained in the flexural strength of coatings when compared to those without replacement. Therefore, this research can contribute to a more sustainable development of the civil construction industry, as it suggests reinserting materials that were previously considered waste, such as new recycled aggregates, in order to build new products, thus minimizing the environmental impacts caused by them.

**Keywords:** civil construction; CDW, sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Linha do tempo sobre a utilização de RCC no mundo e suas normativas.....	17
Figura 2 -	Fluxograma do processo de reciclagem de RCC.....	22
Figura 3 -	Fluxograma de avaliações realizadas na pesquisa para produzir e avaliar revestimentos cimentícios decorativos de parede com a substituição de agregados naturais e cimento por agregados reciclados.....	29
Figura 4 -	Resíduos triturados através de golpes de marreta para garantir a granulometria desejada. Granilha (a), agregado reciclado granilha (b), dolomita (c), agregado reciclado dolomita (d), cimento branco (e) e agregado reciclado cimento (f).....	30
Figura 5 -	Teores de substituição de agregados e cimento nos corpos de prova.....	31
Figura 6 -	Lupa Estereoscópica Binocular, Modelo TIM-30, Opton Microscópios utilizado para separar 300 grãos representativos da amostra.....	33
Figura 7 -	Molde utilizado para fabricação dos corpos de prova.....	36
Figura 8 -	Equipamento de ensaio de flexão, Modelo DL 20000 EMIC, Quanteq utilizado para verificação da resistência de cada corpo de prova.....	37
Figura 9 -	Forno, Modelo 10010, Jung, 2007, utilizado para verificação da expansão dos revestimentos cimentícios.....	41
Figura 10 -	Paquímetro digital.....	42
Figura 11 -	Agregados reciclados pertencentes aos grupos G <sub>1</sub> , fragmentos que apresentam pasta de cimento endurecida em mais de 50% do seu volume, e G <sub>2</sub> , fragmentos constituídos por rochas em mais de 50%. .....	44
Figura 12 -	Valores individuais de resistência a flexão de acordo com os traços, obtidos nos ensaios de resistência a flexão de três pontos.....	47
Figura 13 -	Diagrama de caixa com valores individuais de tensão em cada traço.....	48
Figura 14 -	Corpos de prova analisados após ensaio para determinação de resistência ao choque térmico, utilizando o teor de substituição 14.....	54



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação de RCC segundo resolução nº 307.....	19
Tabela 2 -	Caracterização dos agregados reciclados como materiais indesejáveis, argila em torrões e materiais friáveis, sais solúveis e absorção de água ..	43
Tabela 3 -	Diferença entre os traços, de acordo com o teste de Dunn.....	49
Tabela 4 -	Resultados obtidos para os ensaios de absorção de água ( $E_v$ ), porosidade aparente (P), densidade relativa aparente (T) e densidade aparente (B), com seus respectivos desvios padrões.....	50
Tabela 5 -	Custos da empresa para a produção dos revestimentos cimentícios.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIB	Produto Interno Bruto
RCC	Resíduos da construção civil
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
AR	Agregado Reciclado
ARCO	Agregado Reciclado de Concreto
ARCI	Agregado Reciclado Cimentício
ARM	Agregado Reciclado Misto
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
CP	Corpo de Prova
EPU	Expansão por umidade

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2.1. Objetivo geral .....	15
2.2 Objetivos específicos .....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	16
3.1 Construção civil e sustentabilidade .....	16
3.2 Resíduos da construção civil .....	17
3.3 Agregados .....	21
3.3.1 Agregado reciclado.....	22
3.4 Revestimentos.....	25
3.5 Materiais recicláveis e revestimentos .....	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1 Caracterização dos agregados reciclados .....	33
4.1.1 Materiais indesejáveis.....	33
4.1.2 Argila em torrões e materiais friáveis.....	35
4.1.3 Sais solúveis .....	35
4.1.4 Absorção de água.....	36
4.2 Ensaio para revestimento cimentício com utilização de agregado reciclado.....	37
4.2.1 Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão.....	38
4.2.2 Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente.....	39
4.2.3 Determinação da resistência ao choque térmico.....	41
4.2.4 Determinação da expansão por umidade .....	42
4.3 Viabilidade econômica .....	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
5.1 Caracterização dos agregados reciclados .....	45
6.2 Ensaio para revestimento cimentício com utilização de agregado reciclado.....	49
6.2.1 Determinação de carga de ruptura e módulo de resistência a flexão.....	49
6.2.1 Caracterização do revestimento cimentício com utilização de agregado reciclado .....	52

6.3 Viabilidade econômica .....	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
REFERÊNCIAS .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil possui grande importância no cenário nacional, sendo responsável por parte representativa da economia do país. Em 2021, o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil cresceu 9,7%, enquanto o PIB nacional apresentou alta de 4,6% (CBIC, 2022). No mesmo ano, o setor registrou um aumento de 150% na geração de novas vagas de emprego com carteira assinada, impactando positivamente na economia (CBIC, 2022).

Porém, não se pode afirmar o mesmo no quesito ambiental, pois o setor é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% de toda matéria prima extraída no mundo e também é causador de quase 50% da emissão dos gases de efeito estufa (MESA; FÚQUENE-RETAMOSO; MAURY-RAMÍREZ, 2021).

Uma preocupação recorrente é a escassez de recursos naturais devido à falta de gestão e controle no processo de extração. De tal maneira, torna-se de fundamental importância a proteção e preservação do meio ambiente, a fim de evitar uma crise ecológica (SANTOS; AZEREDO; NEVEU, 2020; SILVA et al., 2020; NASCIMENTO et al., 2020; PASSUELLO et al., 2014).

No Brasil, a construção civil é realizada predominantemente em alvenaria convencional, ou seja, composta por vigas, pilares e laje de concreto, preenchidas com blocos cerâmicos de vedação, um método enraizado na cultura habitacional do país (GRUBLER, 2021). Fator importante a ser destacado, em relação a este método construtivo é a elevada geração de resíduo (EVANGELISTA; BASTOS COSTA; ZANTA, 2010).

De acordo com o panorama dos resíduos sólidos no Brasil, foram coletadas cerca de 47 milhões de toneladas de resíduos da construção civil (RCC) no ano de 2020 (ABRELPE, 2021). Essa alta produção de RCC, associada à ausência ou ineficiência de seu gerenciamento, gera inúmeros impactos ao meio ambiente (ROSADO, et al; 2017).

No intuito de minimizar esses impactos, surgem políticas públicas a fim de promover a redução, reutilização e reciclagem dos mesmos (MESA, et al; 2021). A reciclagem entra como opções para uma construção civil sustentável (ZHANG et al., 2019). Buscando essa redução dos impactos ambientais recorrentes da indústria da construção civil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias por meio da resolução nº 307, do CONAMA (BRASIL, 2002).

Fator importante apresentado por esta resolução, é a determinação de que o gerador deve ser responsável pelo gerenciamento desses resíduos. Essa definição propõe responsabilidades e

estipula a segregação dos resíduos de acordo com suas classes, o encaminhamento para reciclagem e disposição final adequada (BRASIL, 2002).

Atualmente, a tecnologia contribui para o avanço do processo de reciclagem dos RCC através da trituração, transformando-os em agregado reciclado (AR). A NBR 15116 (ABNT, 2021) estabelece requisitos para o emprego de agregados reciclados destes RCC para a utilização em argamassas e concretos de cimento Portland (ABNT, 2021). Para um país em desenvolvimento, o uso de agregados reciclados pode ser uma oportunidade para combinar economia, sustentabilidade e meio ambiente (PENTEADO; ROSADO, 2016).

Diversos elementos utilizados na construção civil fazem uso de agregados reciclados, como canaletas de concreto, blocos de fechamento, telha de concreto, cobogós, pisos permeáveis, pavimentação e concretos. Outros estudos apontam a utilização do RCC em argamassa de revestimento, tanto em substituição do agregado, quanto do cimento utilizado como aglomerante (MARQUES; CAMPOS; MATIAS, 2018; SCHILLER, 2021; DE SOUSA FERNANDES; LUNA DE MELO, 2020).

A minimização do consumo de agregados naturais e cimento é um importante fator para reduzir os impactos e preservar os recursos naturais (GOMES; POGGIALI; AZEVEDO, 2019). Visto que a indústria da construção civil é classificada como a principal geradora de resíduos sólidos da sociedade (EVANGELISTA; BASTOS COSTA; ZANTA, 2010), e a produção de concreto é considerada uma das maiores responsáveis pelos impactos ambientais e pela emissão de CO<sub>2</sub> (GOMES; POGGIALI; AZEVEDO, 2019).

A reciclagem de resíduos da construção civil apresenta diversos benefícios do ponto de vista sustentável, como menor consumo de energia e de emissão de gases de efeito estufa (MARQUES et al., 2020).

A busca por alternativas tecnológicas viáveis para reutilização de resíduos vem crescendo muito, tanto na reintrodução dos ciclos industriais já existentes, quanto na produção de novos insumos (CAETANO et al., 2021). A reciclagem dos RCC auxilia na minimização de problemas encontrados em diversos municípios quanto à destinação irregular, bem como no aspecto estético, ambiental e de saúde pública (STRAPASSAO et al., 2019).

A utilização do agregado reciclado permite uma produção mais limpa e sustentável, atendendo aos objetivos 9, indústria, inovação e infraestruturas, 11, cidades e comunidades sustentáveis e 12, consumo e produção responsáveis, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), presentes na Agenda 2030, da Organização das Nações Unidas (ONU).

Diante do exposto, a pesquisa buscou minimizar os impactos ambientais causados pelos resíduos, realizando a reinserção destes, como agregados reciclados no processo de fabricação

de revestimentos cimentícios, transformando-os em matéria prima para novos produtos, assim agregando valor, minimizando os impactos causados ao meio ambiente e buscando diminuir os custos da empresa.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Produzir e avaliar revestimentos cimentícios decorativos de parede sem fins estruturais com a substituição de agregados naturais e cimento por agregados reciclados.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Triturar os resíduos de revestimentos cimentícios e realizar a separação granulométrica para a obtenção dos agregados reciclados.
- Caracterizar os agregados reciclados e os agregados naturais.
- Preparar corpos de prova de revestimentos cimentícios com diferentes proporções de substituição de agregados naturais e cimento por agregados reciclados.
- Avaliar as propriedades físicas dos corpos de prova.
- Aplicar análise estatística para determinar o melhor teor de substituição.
- Caracterizar os corpos de prova com o melhor teor de substituição de agregados.
- Analisar a economia na produção de revestimentos cimentícios com a utilização de agregados reciclados.



### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Construção civil e sustentabilidade**

A indústria da construção civil sempre teve um papel de grande importância social e econômica, movimentando uma grande cadeia produtiva, alavancando o crescimento econômico e sendo um dos setores que mais gera emprego e renda, responsável por um expressivo número de postos de trabalho e parte considerável da geração de renda para a população (MASUERO, 2021). No ano de 2020, a construção civil foi o setor que mais gerou novos empregos com carteira assinada no País, disponibilizando 105.248 novas vagas (CBIC, 2021).

Em 2021, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a economia brasileira cresceu 1,2%, no primeiro trimestre em relação ao ano anterior. Já o PIB da construção civil, cresceu 2,1% no mesmo período (CBIC, 2021).

Apesar das inúmeras vantagens no setor, ainda se tem desvantagens consideráveis que devem ser mitigadas. A indústria da construção civil apresenta grandes impactos ambientais, alto consumo de insumos naturais esgotáveis, alta demanda energética, alta geração de resíduos e alta emissão de gases de efeito estufa (MASUERO, 2021).

A indústria da construção civil é responsável pelo consumo de 12% do total de água doce utilizável do planeta; a indústria do cimento responde por 5% das emissões de gases de efeito estufa e pelo consumo de 33% da energia elétrica produzida, é causador de um quarto do total das emissões globais de CO<sub>2</sub>, além disso, gera significativa parcela dos resíduos sólidos podendo representar de 50 a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos (SCHEIFER; CALLEJAS, 2021, MEDEIROS; DURANTE; CALLEJAS, 2018, BRASIL, 2012).

Buscando minimizar os impactos negativos que a construção civil pode ocasionar ao meio ambiente, a sustentabilidade entra como medida mitigadora, auxiliando no atendimento das necessidades do presente e das gerações futuras através da conservação de energia, água e recursos naturais por reutilização, reciclagem, minimização de resíduos e poluição (AIGBAVBOA; OHIOMAH; ZWANE, 2017).

Gilbert Silvius et al. (2017), definem sustentabilidade como o uso de recursos naturais, que em condição de equilíbrio, não alcançam declínio ou um ponto não renovável de entrega às próximas gerações. Já Elkington (2013), a conceitua como um equilíbrio econômico, social e ambiental, conhecido como tripé da sustentabilidade. Esta definição descreve que nenhum dos objetivos de desenvolvimento, de economia, crescimento, bem-estar social e um uso

racional dos recursos naturais pode ser alcançado desconsiderando os outros dois pontos do tripé (ADAMS; FROST, 2008).

Uma construção mais sustentável se dá, desde a escolha de materiais de menor impacto, até à redução de consumo de energia e água. Um dos maiores desafios encontrados nessas construções, é a seleção de materiais, pois além das propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas que o produto necessita atender, deve-se analisar fatores econômicos, sociais e o impacto ambiental gerado por este em todo seu ciclo de vida (SAMANI et al., 2015).

Alguns fatores agravantes durante a execução de uma obra são, a geração de resíduos provenientes de demolição, erros de execução, desperdício de materiais, entre outros (TAM; LU, 2016). Estudos realizados por Ding, Wang e Zou (2016), na China, mostram que 30 a 40% dos resíduos gerados no país, tem origem na construção e demolição, necessitando assim de uma gestão apropriada desses resíduos.

Diante disso, é de fundamental importância que se avaliem todos os aspectos da sustentabilidade na construção civil. Ainda, ressalta-se a necessidade de especial atenção aos conceitos ligados à Política dos 3 Rs, que são os eixos orientadores de uma das práticas mais necessárias ao equacionamento da questão dos resíduos sólidos e ao sucesso da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que consistem em reduzir a geração de resíduos, reutilizar e reciclar (BRASIL, 2012).

### **3.2 Resíduos da construção civil (RCC)**

Diversos países possuem especificações técnicas consolidadas no que se refere a utilização de agregados reciclados como material de construção civil, enquanto outros caminham para a incorporação desses materiais. Essas aplicações variam segundo cada país e suas respectivas normativas, no entanto, variam de acordo com as particularidades de cada região relacionadas a oferta de matéria-prima, geração de resíduos, disponibilidade de locais de deposição, restrições normativas, entre outros fatores (ALBERTE, HANDRO, 2021).

Estudos sobre a utilização de agregados reciclados tiveram início em 1928, na Europa, porém foi no período pós Segunda Guerra Mundial que se iniciou o processo de reciclagem dos RCC, advindo da necessidade de solucionar o grande volume de resíduos deixados pela guerra, tornando-se assim o continente europeu o pioneiro da reciclagem (ALBERTE; HANDRO, 2021).

O Japão, no ano de 1977 elaborou sua primeira especificação para a reciclagem de resíduos da construção civil, devido à pequena extensão territorial e a escassez de recursos naturais. Em 1979 foram publicadas pesquisas sobre concretos reciclados na Bélgica, o que

levou à instalação da primeira usina de reciclagem no país em 1986 (VYNECKE; VRIJDEERS, 2010). Em 1983, também por consequências pós-guerra, a Holanda propôs uma norma para a utilização de agregados reciclados em concreto, buscando assim solucionar os problemas causados pelo acúmulo de resíduos gerados no período (VÁZQUEZ, 2016). Após 1982 os Estados Unidos apresentaram condições para a reciclagem de RCC (AFFONSO, 2005).

No Brasil, foi implantada em 1991, a primeira usina de reciclagem do país, no estado de São Paulo (ALBERTE; HANDRO, 2021), porém, apenas em 2002 criou-se uma resolução que estabeleceu condições e responsabilidades para a gestão dos RCC, a Resolução nº 307 do CONAMA (CONAMA, 2002).

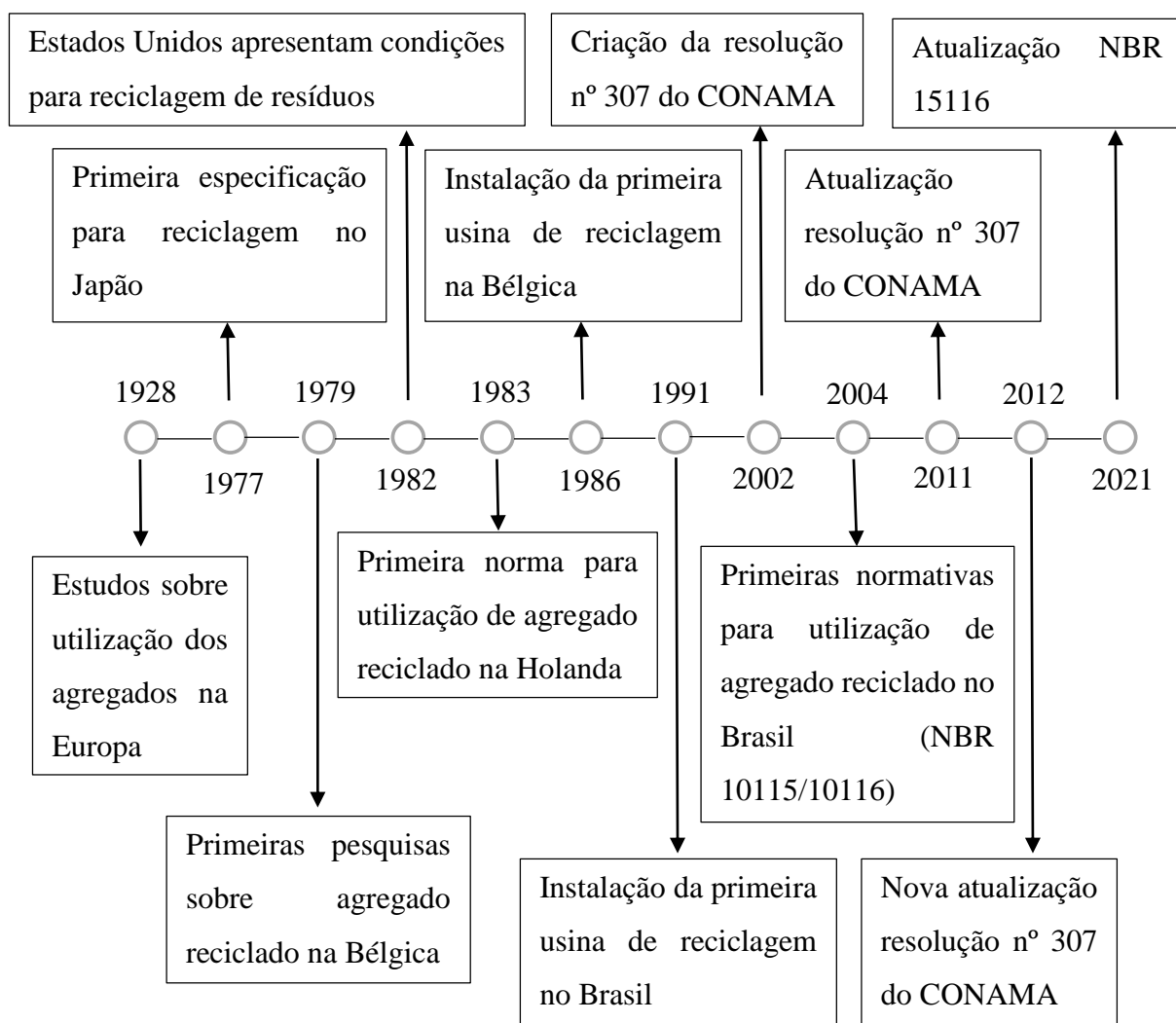


Figura 1 – Linha do tempo sobre a utilização de RCC no mundo e suas normativas. Fonte: (ALBERTE; HANDRO, 2021), adaptada pela autora.

De acordo com Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2002), fica determinado que o gerador deve ser o responsável pelo gerenciamento destes resíduos. Essa determinação representou um importante marco legal, determinando responsabilidades e estipulando a segregação dos resíduos em diferentes classes definidas pela mesma resolução e encaminhamento para reciclagem e disposição final adequada.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos, tornou-se um importante marco legal no gerenciamento dos resíduos sólidos, representando uma forte articulação entre a União, Estado e Municípios, a fim de solucionar os problemas encontrados, os quais refletem na qualidade de vida dos brasileiros. A partir da PNRS foi instituído um novo conceito de responsabilidade compartilhada, onde cidadãos, governos, setor privado e sociedade civil organizada, passaram a ser responsáveis pela gestão ambientalmente correta dos resíduos sólidos (BRASIL, 2012).

Considerando que os RCC representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas, bem como, a disposição em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental, surge a necessidade de implementação de diretrizes que reduzam efetivamente os impactos ambientais gerados por estes (ALBERTE; HANDRO, 2021).

Tendo em conta que os geradores devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições, a Resolução nº 307 do CONAMA estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, proporcionando benefícios de ordem social, econômica e ambiental (BRASIL, 2002).

Segundo a mesma resolução, resíduos da construção civil 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).

Para o gerenciamento adequado desses resíduos, os mesmos devem ser segregados de acordo com sua classificação da resolução nº 307 (CONAMA, 2002), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de RCC segundo resolução nº 307 (CONAMA, 2002)

Classes	Características
A	Resíduos recicláveis ou reutilizáveis como agregados
B	Resíduos recicláveis para outras destinações
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação.
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção.

Fonte: CONAMA (2002), adaptada pela autora.

Os RCC são compostos por uma fração mineral formada principalmente de silicatos, aluminatos e óxidos alcalinos, presentes em concretos, argamassas, cerâmicas, aglomerantes e rochas (ULSEN et al., 2010). Essas bases podem ser reaproveitadas para fabricação de agregados reciclados, na pavimentação de estradas e calçadas, fabricação de concreto e blocos cerâmicos, proteção e contenção de taludes, entre outros (GHANBARI et al. 2018; LUZ, ALMEIDA, 2012).

Em diversas atividades construtivas pode existir desperdícios de materiais, além da incorporação em excesso e os resíduos gerados são bastante heterogêneos. Essa variabilidade pode ser justificada por diversos fatores, como a diversidade de tipologia de obras, a fase em que a obra se encontra, qualidade dos materiais e equipe de serviço, gestão dos resíduos da construção e a sazonalidade da construção civil (VIANA NETO, SALES, SALES; 2018).

A oscilação da composição dos RCC gera também consequências na composição do agregado reciclado, esse fator é um obstáculo na produção de concretos e argamassas, visto que essa ociosidade na composição impede o desenvolvimento de métodos precisos para o controle das propriedades dos agregados e suas influencias nas propriedades físicas, químicas e mecânicas dos materiais cimentícios (MALTA, SILVEIRA, GONÇALVES; 2013).

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, os resíduos da construção civil coletados pelos municípios registraram um aumento de 11,5 milhões de toneladas, de 2010 para 2019, em 2021 foram coletados 47 milhões de toneladas de RCC (ABRELPE, 2021). Esta grande quantidade de resíduos provoca além de impactos ambientais, prejuízos para quem o produz, diante disso o reaproveitamento de resíduos tem se tornado cada vez mais comum (CARASEK et al., 2018).

A reciclagem desses resíduos podem trazer inúmeros benefícios para o setor da construção civil, bem como para o meio ambiente, podendo reduzir potencialmente a deposição

irregular, o volume de resíduos em aterros e a extração de recursos naturais (PENTEADO; ROSADO, 2016).

### 3.3 Agregados

Os agregados são materiais granulares, normalmente inertes, com dimensões e propriedades úteis para utilização em concretos e argamassas (LUCAS, 2021). De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2021) os agregados são classificados conforme sua granulometria, divididos em agregados graúdos e miúdos. Os agregados graúdos são aqueles passantes pela peneira com abertura de malha de 75 mm, e retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Já os agregados miúdos são os passantes pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu$ m.

Os agregados podem ser também classificados de acordo com sua origem, sendo essas: natural, artificial e reciclada. Agregados naturais são aqueles britados, oriundos da trituração de rochas para que se atinja a granulometria desejada. Quanto aos artificiais são aqueles obtidos através de métodos industriais. E por fim, os reciclados, que são resíduos sólidos granulares, adequados para o uso em concreto após análise e comprovação (DAMO, 2011).

Na construção civil, os agregados são utilizados para produção de concreto, argamassa e asfalto, podendo ser também aplicados como base para pavimentos em seu estado natural (GRABASCK, 2016). São substâncias minerais, como areia, cascalho e rocha britada, considerados materiais básicos, portanto se encontram entre os minerais mais importantes e estão classificados na primeira posição em termos de quantidade de produção, cerca de 18 bilhões de toneladas em 2000, correspondendo a 58% de toda produção mineral mundial (BLENGINI, GIAN ANDREA, ELENA GARBARINO, 2008).

Ferreira, et al (2009), relatam que em 2008, foram extraídas 300 milhões de toneladas de areia e 234 milhões de toneladas de brita no país, tanto por pequenas e médias empresas, como por empresas clandestinas, que são as responsáveis por grande parte dos danos causados ao meio ambiente.

Em consequência dos impactos ambientais introduzidos pela atividade industrial, é fundamental o encontro de um equilíbrio entre a exploração dos recursos naturais e sua gestão adequada, a fim de atender aos requisitos de proteção ambiental sustentável. Deve-se avaliar qual a quantidade de materiais a serem produzidos e o processo de produção mais adequado. Os agregados de construção são recursos essenciais e valiosos para o desenvolvimento

econômico, porém devem ser produzidos de acordo com princípios de sustentabilidade econômica e ambiental (BLENGINI, GIAN ANDREA, ELENA GARBARINO, 2008).

A extração de matéria-prima para a produção de agregados, muitas vezes é responsável por uma série de danos ambientais, por isso, a crescente tendência mundial de se propor o uso de materiais de construção inovadores, que considerem a mitigação de seus impactos ambientais no processo produtivo (PASSUELLO et al., 2014).

O desenvolvimento de tecnologias e soluções inovadoras que permitam obter ganhos no âmbito da sustentabilidade é de fundamental importância, seja pelo aproveitamento de resíduos para uma construção mais eficiente, segura, de qualidade e com redução dos impactos ambientais, seja pelo desenvolvimento de novos materiais e processos (MASUERO, 2021).

### 3.3.1 Agregado reciclado

Buscando minimizar os impactos causados pela extração de recursos naturais não renováveis, novos materiais de construção são avaliados na intenção de substituir os tradicionais, entre esses estão os agregados reciclados de RCC, estes podem ser aplicados para fins como pavimentação e concretos, desde que respeitados os requisitos impostos na NBR 15116 (ABNT, 2021).

A utilização desses resíduos como matéria prima para produção de agregados auxilia não só na minimização dos impactos quanto à extração, mas também à disposição final dos RCC, cerca de 30% de todo material empregado na construção civil é descartado como entulho (SILVA, et al, 2015).

O descarte inadequado dos resíduos de construção causa impacto diretamente ao meio ambiente, ocasionando problemas de drenagem, alteração no tráfego urbano e na paisagem local, assoreamento de rios, córregos e lagos, bem como a proliferação de vetores e doenças (DI DOMENICO, et al., 2018). O aproveitamento desses resíduos na produção de agregados é uma aplicação benéfica à sustentabilidade e ao meio ambiente, visto que minimiza o descarte inadequado, bem como as explorações de jazidas naturais, e diminui também os custos com a administração e limpeza pública (MARTINS, 2012; RIBEIRO; MENDES, 2018).

Segundo Domingues (2013), a utilização de agregados reciclados além de ser uma destinação ambientalmente correta dos resíduos, contribui com a minimização significativa dos custos relacionados ao transporte dos agregados, visto que existe uma escassez de agregados naturais próximos a áreas urbanas, acarretando assim em maiores distâncias entre as construções e as fontes de materiais, impactando no custo do transporte.

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas no meio científico, buscando alternativas para transformação dos RCC. A reciclagem na construção civil pode gerar grandes benefícios, como redução de consumo de recursos naturais não renováveis, redução de consumo de energia e redução de impactos ambientais. O uso de RCC como agregado está sendo implementado e difundido em vários países e representam uma realidade promissora (SILVA; MELO, 2021).

O potencial de reciclagem e reutilização de RCC é alto, existindo um grande interesse do mercado em reutilizar e reciclar agregados derivados de RCC em materiais, bem como em projetos de construção. Muitos estudos têm sido realizados para avaliar a viabilidade de seu uso para diversas aplicações como concreto, argamassa e materiais cerâmicos; blocos de concreto ecologicamente corretos; síntese de geopolímeros; aplicações geotécnicas; uso em fundações de paredes; camada de cobertura do aterro; materiais alternativos de enchimento de tubos; asfalto e estradas (DOS REIS et al., 2021).

A produção do agregado reciclado através dos RCC, tem como objetivo preservar o meio ambiente e reduzir os impactos ambientais, atendendo a demanda de novos materiais e dando uma destinação correta aos resíduos gerados pela construção civil (GRABASCK, 2016).

O fluxograma apresentado a seguir (Figura 2), representa o passo a passo do processo de reciclagem dos RCC, transformando-os em agregados reciclados.

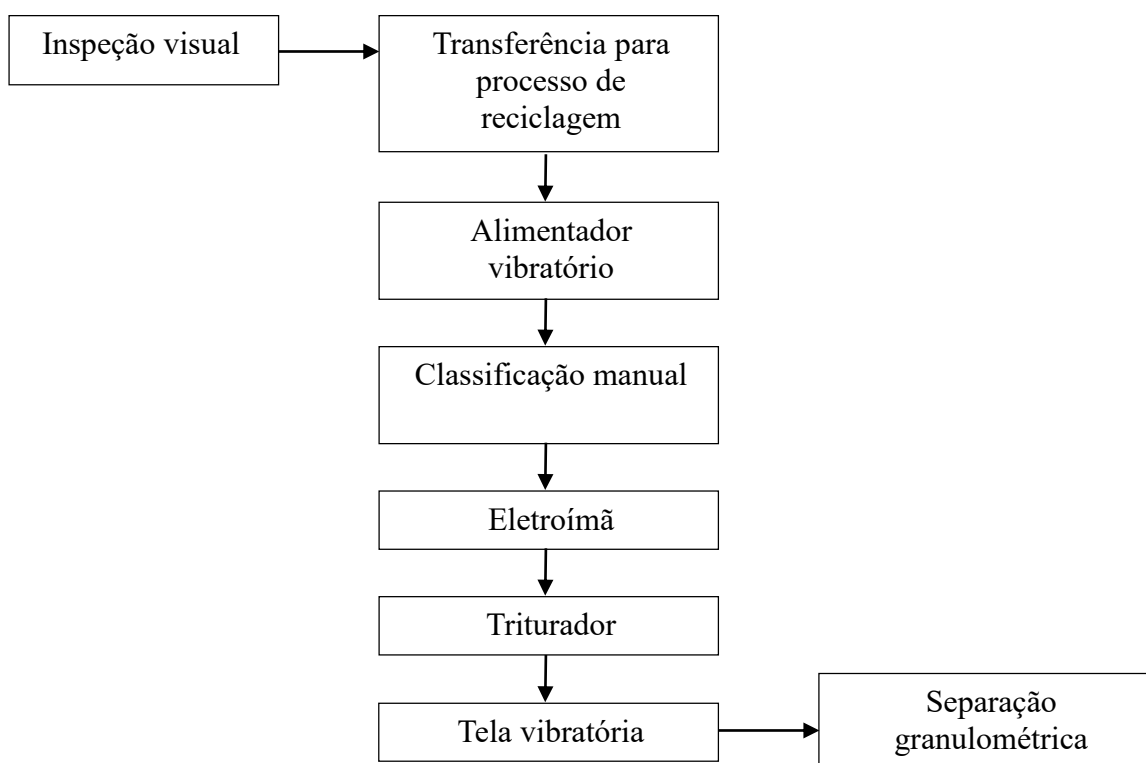


Figura 2 – Fluxograma processo de reciclagem de RCC. Fonte: (PENTEADO; ROSADO, 2016), adaptado pela autora.



Os agregados reciclados apresentam variabilidade em suas propriedades, devido a heterogeneidade de sua composição, equipamento utilizado para britagem, distribuição granulométrica, absorção de água, entre outros. Como essas características apresentam distinções dos agregados naturais, algumas modificações nas condições de aplicação e nas características do concreto ou argamassa que será utilizado esse agregado reciclado (AR) devem ser levadas em consideração (NENO, 2010; GIARDI, 2016).

Um grande desafio encontrado na utilização dos agregados reciclados é definir a quantidade desse novo material, que poderá substituir o agregado natural. Existem limites objetivos e intransponíveis à reciclagem, que podem ser atribuídos à degradação da qualidade, perda de massa e energia, bem como a poluição causada durante os processos de reciclagem (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Os agregados reciclados diferenciam-se dos agregados naturais devido à argamassa residual aderida, o agregado reciclado é menos denso, tem maior porosidade e capacidade de absorção de água do que o agregado natural. Portanto, são esperados impactos nas características do concreto produzido com esses agregados. Porém os inconvenientes mecânicos e de durabilidade podem ser vencidos com o uso de medidas específicas como o aumento de teor de ligante, ou o uso de superplastificantes ou aditivos minerais (NEVES; DE BRITO, 2022).

É necessário um equilíbrio entre o agregado natural e o reciclado, realizando uma contribuição efetiva, em termos qualitativos e quantitativos, que os agregados reciclados podem fornecer para satisfazer a necessidade de atendimento das demandas de agregados (FROTTE et al., 2017).

Em grande parte das usinas de reciclagem, a produção tem foco em agregados graúdos, principalmente para a utilização em pavimentação. O agregado miúdo, fração passante na peneira 4,75 mm gerado no processo de reciclagem representa de 40 a 60% em massa do resíduo, e esta é utilizada em bases de pavimentação ou descartada como resíduo da própria reciclagem (ULSEN et al., 2010).

Embora ainda exista algumas restrições, o agregado reciclado graúdo é mais aceito pela indústria da construção civil, contudo os agregados reciclados miúdos são utilizados em escala significativamente menor, especialmente os agregados mistos, pois estes apresentam alta heterogeneidade, elevada capacidade de absorção de água e maior quantidade de finos (FERREIRA, et al, 2019).

Em contrapartida, os agregados reciclados finos podem apresentar melhoras nas propriedades do concreto e argamassa, por meio do efeito químico, devido a leve reatividade

dos materiais e físicos, por consequência do microenchimento dos vazios, ou melhor empacotamento das partículas. Tais efeitos contribuem para um concreto ou argamassa mais coeso e resistente (FERREIRA, et al, 2019).

Para o uso de agregados reciclados a NBR 15116 (ABNT, 2021) os subdivide em três subclasses: agregado reciclado de concreto (ARCO); agregado reciclado cimentício (ARCI); agregado reciclado misto (ARM). Onde os ARCI são os agregados reciclados constituídos predominantemente por materiais cimentícios diversos, como concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto, podendo incluir teores reduzidos de cerâmica vermelha. Já os ARCO são os agregados reciclados constituídos predominantemente por resíduos de concreto, e os ARM são aqueles constituídos por uma mistura de materiais cimentícios e materiais cerâmicos.

Quando os agregados reciclados forem utilizados para concretos não estruturais, é indicado utilizar as subclasses ARCO, ARCI e ARM, em teores de substituição de até 100% da massa de agregados naturais, já quando utilizados em concretos estruturais, esta substituição é limitada a 20% e é indicado unicamente a utilização da subclasse ARCO.

### **3.4 Revestimentos**

O revestimento é responsável pela uniformização dos serviços de alvenaria, dando acabamento para a obra, proporciona uma maior resistência mecânica, auxilia na impermeabilização, torna as superfícies mais higiênicas, aumenta a qualidade de isolamento térmico e acústico (CIOCCHI, 2014).

No mercado existe uma grande variedade de materiais, aplicabilidades, cores, padrões e texturas. São destinados para pisos e paredes, internos ou externos. Sua utilização deve estar em conformidade com suas características, quanto à resistência ao desgaste, resistência química, manchas, absorção de água e características antiderrapantes (ARAUJO, 2019).

O revestimento de argamassa de fachada apresenta importantes funções como proteger os elementos de vedação dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos; auxiliar as vedações no cumprimento de suas funções como, por exemplo, o isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases; regularizar a superfície; constituir-se no acabamento final (LEONE et al., 1998).

Os revestimentos podem ser classificados de acordo com o material base de sua composição, podendo ser sintético ou natural. Os naturais são aqueles cuja matéria prima possui origem natural, ou seja, não passa por processo de industrialização ou passam por um beneficiamento de modo artesanal ou semi-industrial. Já os sintéticos, são aqueles que

necessitam da intervenção do homem para sua produção (LIMA; ARANHA, 2007). Dentre os revestimentos de paredes disponíveis no mercado tem-se a madeira, pedras naturais, cerâmica, gesso e cimento (ARAUJO, 2019).

Atualmente a utilização da madeira baseia-se em técnicas de reflorestamento e industrialização, diminuindo perdas e tornando-a competitiva econômica e ecologicamente (CARNIELLE, 2011). O material oferece leveza e resistência paralelamente ao sentido das fibras, tem baixo custo, é renovável e utiliza pouca energia, apresenta fácil trabalhabilidade e quando laminada permite obter formas complexas (ASHBY; JOHNSON, 2002). Entretanto, apresenta alguns pontos negativos como a biodegradação, flambagem, degradação por exposição à radiação solar e variações dimensionais (CUNHA, 2013).

As pedras naturais são todo tipo de rocha que se obtém em blocos ou partes de um determinado tamanho que permitem a sua utilização de acordo com a função a ser desempenhada. Existe uma extensa variedade de rochas com diversas propriedades distintas como maleabilidade, resistência, disponibilidade e estética (SANTOS, 2004).

As cerâmicas apresentam durabilidade, facilidade de limpeza, assepsia, impermeabilidade, resistência ao fogo, estabilidade das cores, resistência aos ácidos e álcalis, modularidade e beleza (MINUZZI, 2001).

Segundo a NBR 13006 (ABNT, 2020), os porcelanatos são placas cerâmicas para revestimento constituídas por argilas, feldspatos e outras matérias-primas inorgânicas. Pode ser esmaltado ou não, polido ou natural, retificado ou não retificado e apresentar dimensões variadas (ABNT, 2020). Ele se destaca por suas propriedades como alta resistência à flexão, alta carga de ruptura, alta resistência à abrasão, impermeabilidade, além de possuir vantagens como uniformidade de cores e amplas possibilidades de composições (CAMPOS, 2011).

O gesso trata-se de um aglomerante mineral obtido pela calcinação do gipso, um minério constituído essencialmente de gipsita. O gesso de construção tem como seu principal constituinte o hemihidrato, que em contato com a água, hidrata-se formando, novamente, o dihidrato ou gipsita (JOHN; CINCOTTO, 2007). É considerado menos agressivo ao ambiente do que o cimento Portland, pois em seu processo de fabricação o gasto energético é menor (OLIVEIRA, 2009).

As placas cimentícias são fabricadas utilizando o cimento Portland, o qual ao ser misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc. As características e propriedades desses concretos e argamassas vão depender da qualidade e proporções dos materiais com os quais são compostos. (GIAMUSSO, 1992).

Os revestimentos cimentícios são produzidos a partir do concreto, são contínuos e feitos a partir de uma massa, são versáteis, podendo ser utilizados em paredes, pisos e fachadas de ambientes internos e externos (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO AS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS, 2017). Possuem alta resistência a impactos, elevada durabilidade, resistência a intempéries, incombustibilidade e proporcionam bom isolamento termoacústico. Além disso, podem receber um tratamento superficial que lhes confere menor absorção de umidade e maior estabilidade dimensional (HOFMANN, 2015).

### **3.5 Materiais recicláveis e revestimentos**

O uso de agregados reciclados podem ser aplicados na produção de blocos de vedação, pisos permeáveis, pavimentação e em concretos sem fins estruturais (DE SOUSA FERNANDES; LUNA DE MELO, 2020). Outros estudos apontam a utilização do RCC em argamassa de revestimento, tanto em substituição do agregado, quanto do aglomerante (SCHEIFER; CALLEJAS, 2021).

Outros materiais também são incorporados em misturas para substituição de agregados na fabricação de revestimentos. Awoyera, et al. (2017), analisou os benefícios do uso de resíduos de telha cerâmica para fabricação de concreto sustentável e constatou um excelente potencial para o reaproveitamento do resíduo em substituição dos agregados naturais. O estudo aponta que o agregado cerâmico é predominantemente silicoso, o que fornece propriedades semelhantes ao agregado natural.

Bezerra (2011), constatou que a cinza de casca de arroz apresenta grande potencial de utilização no setor da construção civil, na produção de argamassas e concretos, por apresentar elevado teor de sílica, podendo ser utilizada como pozolana. Observou-se que a utilização deste resíduo como material alternativo em argamassas contribui para o aumento das propriedades mecânicas e diminuição do consumo de cimento.

Já Wangrakdiskul (2020), realizou estudos sobre o solo sedimentar do processo de tratamento de água e cacos de vidro na fabricação de revestimentos de parede não vitrificados. Constatou-se que o caco de vidro desempenhou importante papel como agente fundente eficiente para misturas em corpos cerâmicos.

Gebremedhin e Rotich (2020), analisaram a incorporação de polietileno de baixa densidade reforçado com fibra de folha de abacaxi para fabricação de compósitos de revestimento de parede de banheiro. Os efeitos da fibra da folha de abacaxi nas propriedades

do compósito foram investigados usando testes de tração, flexão, impacto e absorção de água e apresentou bons resultados.

Marques, Matias e Barreto (2017), avaliaram a inserção de RCC e lama de mármore e granito na composição de revestimento cimentício. Obtiveram peças com resultado interessante em questão de acabamento e porosidade, mas constataram que ainda se fazem necessários novos processos para uma superfície mais lisa, por se tratar de revestimento de parede.

Em 2018, Marques, Campos e Matias realizaram estudos com a adição de RCC e palha de milho no revestimento cimentício, obtendo resultados interessantes, pois a peça suportou alta carga até a deformação, devido a utilização das fibras. Porém ainda necessita de um melhoramento no acabamento do produto final.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os agregados reciclados utilizados foram obtidos de resíduos gerados em uma empresa que fabrica revestimentos cimentícios, localizada no Sul do Brasil. Os resíduos recebidos passaram por previa segregação na própria empresa, de acordo com a classificação da Resolução nº 307 (CONAMA, 2002). Foram identificados como resíduos de classe A, reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Em seguida foram processados e ensaiados utilizando como norma norteadora a NBR 15116 (ABNT, 2021), logo após, foi realizada a preparação de corpos de prova com diferentes teores de substituição de agregados e cimento, que foram ensaiados com base na NBR ISO 13006 (ABNT, 2020) para placas cerâmicas – Definições, classificação, características e marcação. O passo a passo realizado no estudo pode ser observado no fluxograma a seguir (Figura 3).

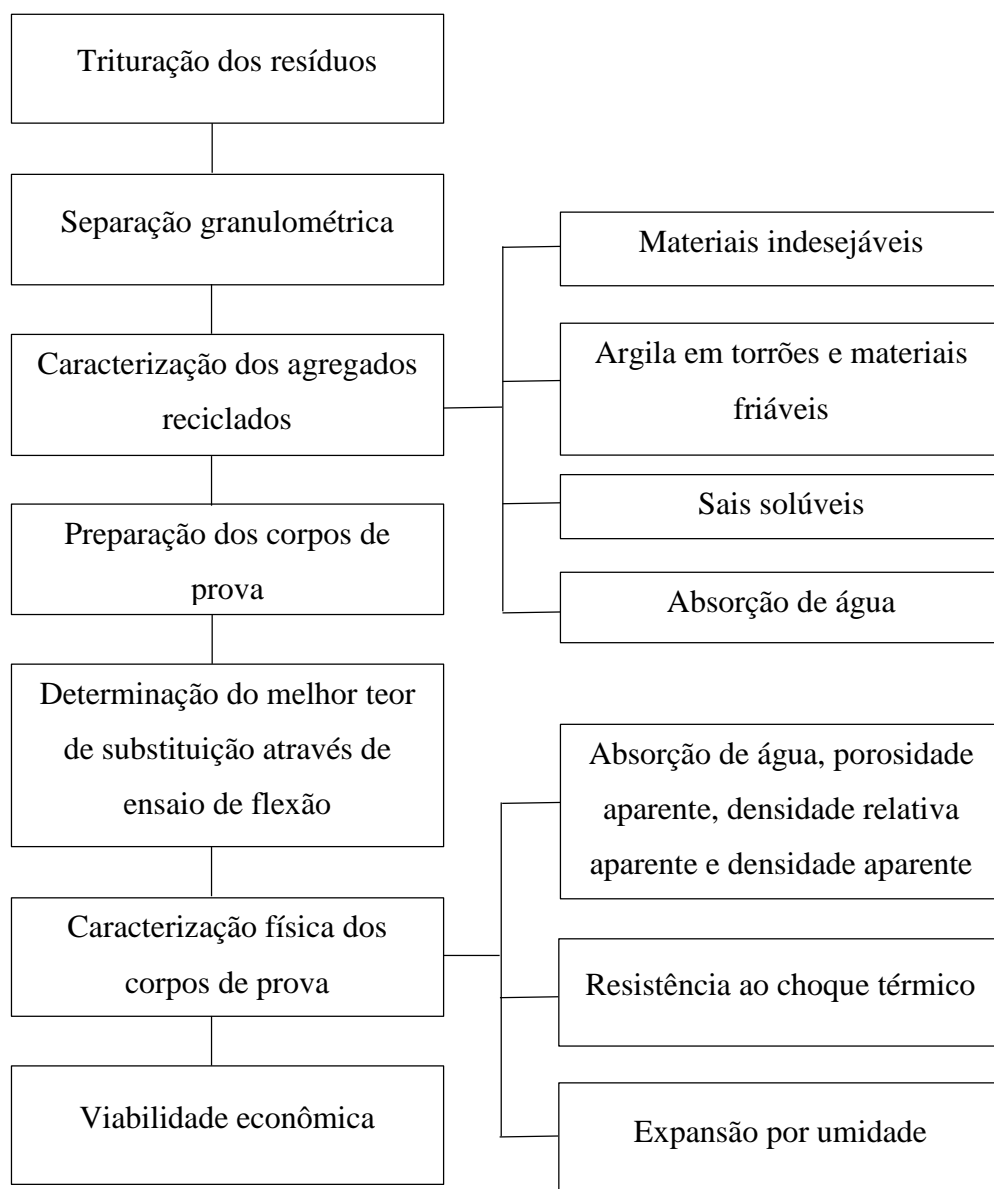


Figura 3 – Fluxograma de avaliações realizadas na pesquisa para produzir e avaliar revestimentos cimentícios decorativos de parede com a substituição de agregados naturais e cimento por agregados reciclados. Fonte: Autora (2022).

Os resíduos utilizados para a produção do agregado reciclado foram provenientes de revestimentos cimentícios não aprovados para a comercialização e recortes de peças. Sendo assim, estes resíduos são classificados como agregado reciclado cimentício (ARCI). O processo proposto, buscou a reutilização dos RCC na produção de uma nova peça de revestimento cimentício de parede, onde não fosse necessária alta padronização de cor, devido à dificuldade de uniformização da composição do agregado reciclado.

Para o processo de reciclagem, primeiramente, realizou-se a trituração do resíduo, por método manual de trituração, através de golpes de marreta, até que se atingiu a granulometria desejada, a qual foi passante na peneira com malha 4,75 mm, e retida em 150  $\mu\text{m}$ . Considerado assim, como agregado miúdo de acordo com a NBR 15116 (ABNT, 2021). Já o agregado passante na peneira 75  $\mu\text{m}$  foi utilizado na substituição parcial do cimento como pode ser observado na Figura 4.



Figura 4 – Resíduos triturados através de golpes de marreta para garantir a granulometria desejada. Granilha (a), agregado reciclado granilha (b), dolomita (c), agregado reciclado dolomita (d), cimento branco (e) e agregado reciclado cimento (f). Fonte: Autora (2022).

Para a fabricação dos corpos de prova, adotou-se a mesma proporção de materiais utilizadas pela empresa, onde foram utilizados 22,4% de cimento branco, 33,6% de dolomita, 35,8% de granilha, 0,16% de fibra de vidro, 0,04% de plastificante e 8% de água.



Diferentes teores de substituição em relação à massa de agregado miúdo natural por agregado reciclado foram utilizados, sendo estes de 0%, 25%, 50% e 100%. Já em relação a substituição do cimento por agregado reciclado este se deu em porcentagens diferentes 0%, 10%, 15% e 30%, totalizando 16 diferentes corpos de prova (Figura 5), desses teores, foram realizados a moldagem de 5 corpos de prova para cada diferente teor de substituição.

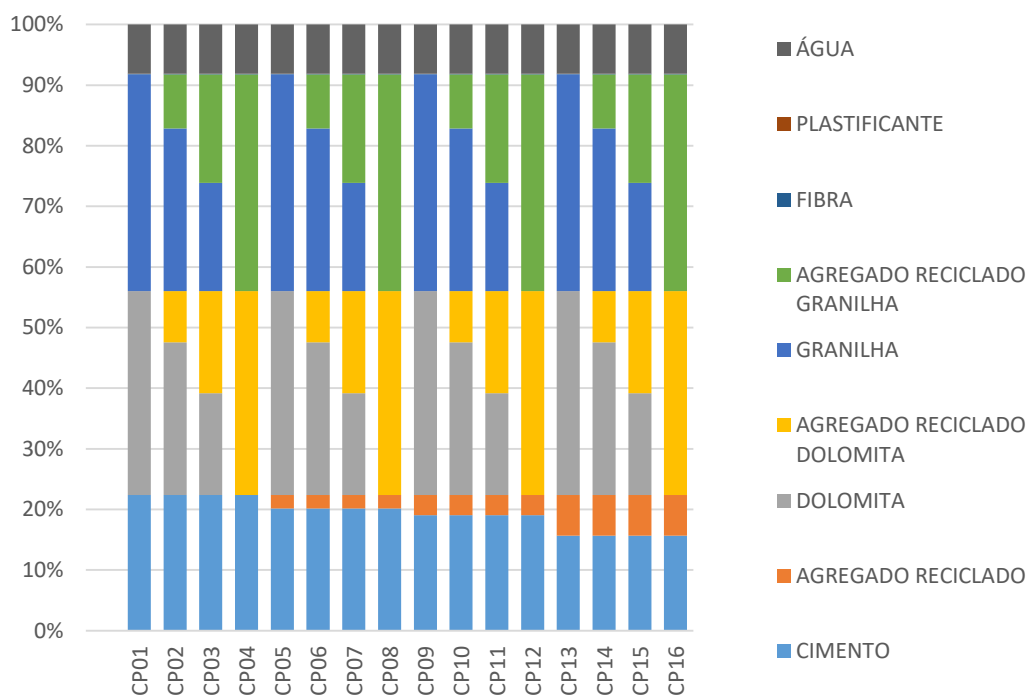


Figura 5 – Teores de substituição de agregados e cimento nos corpos de prova. Fonte: Autora (2022).

Devido a porosidade apresentada em partículas de agregado reciclado, tornou-se necessária a pré-molhagem das partículas, ajustando assim as propriedades reológicas, como trabalhabilidade, consistência, perda de abatimento, entre outras. O processo de pré-molhagem ocorreu antes do preparo da massa para moldagem dos corpos de prova, visto que assim não houve a necessidade de alteração do fator água/cimento e mantiveram-se as mesmas características da massa.

A quantidade de água utilizada para a pré-molhagem foi determinada através da NBR 15116 (ABNT, 2021), onde utilizou-se a seguinte equação:

(1)

$$C_{ar} = C_r \times A \times K_1$$

(2)

$$C_{ae} = C_{at} - (C_{ag} \times A \times K_1) - (C_{am} \times A \times K_1) \quad (3)$$

$$a / c_e = C_{ae} / C_c$$

Onde:

- A é a absorção de água do agregado reciclado, obtida conforme NBR 16916 (ABNT, 2021), expressa em porcentagem de massa (%);
- C<sub>r</sub> é a quantidade de agregado reciclado, expressa em quilogramas por metro cúbico de argamassa ou de concreto (kg/m<sup>3</sup>);
- C<sub>ag</sub> é a quantidade de agregado grão reciclado, dosado por metro cúbico de argamassa ou de concreto, expressa em quilogramas (kg);
- C<sub>am</sub> é a quantidade de agregado miúdo reciclado, dosado por metro cúbico de argamassa ou de concreto, expressa em quilogramas (kg);
- C<sub>ae</sub> é a quantidade de água efetiva, dosada por metro cúbico de argamassa ou de concreto, descontada a absorção de água do agregado reciclado, expressa em quilogramas (kg);
- C<sub>at</sub> é a quantidade de água total, por metro cúbico de argamassa ou de concreto, expressa em quilogramas (kg);
- K<sub>1</sub> é a fração percentual de água absorvida nas primeiras horas pelo agregado, expressa em relação à sua absorção de água em 24 horas;
- C<sub>c</sub> é o consumo de cimento por metro cúbico de concreto ou argamassa, expresso em quilogramas (kg);
- a / c<sub>e</sub> é a relação água/cimento efetiva.

Logo após o processo da pré-molhagem dos agregados reciclados, foram incorporados os agregados naturais, posteriormente o cimento, fibra de vidro, água e aditivo plastificante.

## 4.1 Caracterização dos agregados reciclados

### 4.1.1 Materiais indesejáveis

Os materiais indesejáveis, fragmentos de natureza orgânica, como madeiras, plástico, betume e materiais carbonizados, e de natureza inorgânica, como vidros, vidrados cerâmicos e gesso, foram determinados segundo a NBR 15116 (ABNT, 2021).

O método utilizado, permite a determinação da composição dos agregados reciclados miúdos de resíduos de classe A da construção civil. Essa determinação possibilita avaliar a

quantidade de agregado miúdo reciclado, entre as massas de fragmentos de seus materiais constituintes, identificados por critério visual e pela massa total dos fragmentos.

Foi realizado o peneiramento de 1 kg de amostra passante na peneira com malha de 4,75 mm e retida na de 2,36 mm, em seguida a fração retida na peneira foi lavada em água corrente e posteriormente transferida para uma bandeja metálica e levada a estufa (modelo B2CBE, DeLeo) à 105 °C, onde permaneceu por 24 horas.

Decorrido o tempo de secagem, a amostra passou por resfriamento até atingir a temperatura ambiente e logo em seguida foi realizada a separação de 300 grãos escolhidos de forma representativa e analisados com o auxílio de lupa estereoscópica binocular, Modelo TIM-30, Opton Microscópios (Figura 6). Foi então realizada a contagem e identificação dos grãos e classificados de acordo com os critérios de classificação de cada grupo apresentado na norma.



Figura 6 – Lupa Estereoscópica Binocular, Modelo TIM-30, Opton Microscópios utilizado para separar 300 grãos representativos da amostra. Fonte: Autora, 2022.

De acordo com a classificação da NBR 15116 (ABNT, 2021), os fragmentos podem ser divididos em 4 grupos. O grupo 1 (G1) é constituído por fragmentos que apresentaram pasta de cimento endurecida em mais de 50% do seu volume, já o grupo 2 (G2) é composto por fragmentos constituídos por rocha em mais de 50% do seu volume. Fragmentos do grupo 3 (G3) são constituídos de cerâmica vermelha, com superfície não esmaltada, em mais de 50% do seu volume, e fragmentos do grupo 4 (G4) são constituídos por materiais indesejáveis, de

natureza orgânica, como madeiras, plásticos, betumes e materiais carbonizados, e de natureza inorgânica, como metais, vidros, cerâmica branca esmaltada e gesso. Fragmentos dos grupos G3 e G4, não foram encontrados nas amostras.

Então, após serem analisados os grãos, dividiu-se a quantidade de material analisado de cada grupo e determinou-se sua massa utilizando balança de precisão (ME303, Mettler Toledo), coletou-se também a massa total da amostra, alcançando assim a porcentagem de massa para cada um dos grupos de fragmentos encontrados na amostra.

#### 4.1.2 Argila em torrões e materiais friáveis

Para a realização deste ensaio, tomou-se como base a NBR 7218 (ABNT, 2010). Inicialmente separou-se 250 g de amostra através do peneiramento do agregado passante em peneira 4,75mm e retido em peneira 1,18 mm. Após segregação, a amostra foi transferida para uma bandeja metálica e encoberta por água, onde passou 24 horas em repouso. Transcorrido este tempo a massa foi transladada para uma peneira de malha de abertura de 600 µm, onde foi cuidadosamente revolvida com as mãos durante um fluxo de água de lavagem. Então após a lavagem, a amostra foi deslocada para uma nova bandeja metálica e levada a estufa a 105 °C durante 24 horas, onde se observou uma massa constante da amostra.

Com os dados obtidos através dos ensaios, pode-se calcular o teor de argila em torrões e materiais friáveis ( $m_t$ ) seguindo a equação:

$$m_t = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

$m_t$  é o teor de argila em torrões e materiais friáveis, em porcentagem;

$m_i$  é a massa inicial do intervalo granulométrico, em gramas;

$m_f$  é a massa após peneiramento via úmida, em gramas.

Então, através da equação da NBR 7218, obteve-se a porcentagem do teor de argila em torrões e materiais friáveis.

#### 4.1.3 Sais solúveis

Utilizou-se como referência normativa para o desenvolvimento do ensaio a NBR 9917 (ABNT, 2009). A amostra foi preparada com 888 g de agregado reciclado, o qual foi seco em

estufa a 105 °C por 24 horas, em seguida, passou-se a amostra em uma peneira com abertura de malha de 2,36 mm onde obteve-se uma taxa de 100% da amostra passante.

Desta amostra, foram transferidos 20 g ( $m_1$ ) para um frasco de Erlenmeyer de 250 ml e foram adicionados 100 ml de água a 80 °C, em seguida fechou-se o frasco e foi realizada uma agitação utilizando um agitador magnético durante 10 minutos.

Decorrido o tempo de agitação, a solução foi filtrada em papel de filtro de filtração média e o filtrado foi recolhido em balão volumétrico de 500 ml. Com água a 80 °C, o material do papel foi lavado até que se atingisse um volume de 300 ml, então o conteúdo do balão foi resfriado até a temperatura ambiente e seu volume foi completado com água.

Desta solução preparada, separou-se com auxílio de uma pipeta 100 ml que foram transferidos para uma capsula de porcelana, então utilizou-se uma chapa aquecedora para evaporar a solução. Posteriormente, a capsula foi transferida para uma estufa a 105 °C, até que se atingisse uma massa constante ( $m_2$ ).

Para o cálculo da porcentagem de sais solúveis seguiu-se a equação

(5)

$$s = \frac{m_2 \cdot 5}{m_1} \cdot 100$$

Onde:

s é a quantidade de sais solúveis, expressa em porcentagem;

$m_1$  é a massa da amostra original, expressa em gramas;

$m_2$  é a massa de sais solúveis, expressa em gramas;

5 é o fator de alíquota.

#### 4.1.4 Absorção de água

Para a definição da absorção de água, utilizou-se como base a norma NBR 16916 (ABNT, 2021), a qual foi adaptada para o ensaio, onde uma amostra de 500 g foi depositada em uma bandeja metálica e coberta com água potável por 24 horas, em seguida, foi retirada da água e estendida sobre uma superfície plana, onde foi submetida a uma ação de corrente de ar suave através de um ventilador. A amostra foi revolvida com frequência, assegurando assim uma secagem uniforme até que os grãos não estivessem mais aderidos entre si.

Então a amostra foi transferida para um molde tronco-cônico e suavemente foram aplicados 25 golpes com haste de compactação em sua superfície, em seguida o molde foi

retirado e o agregado desmoronou, atingindo assim a condição saturada superfície seca e determinada sua massa da amostra na condição saturada superfície seca ( $m_B$ ).

Simultaneamente, 500 g da amostra foram colocados em uma bandeja metálica e levados para estufa a 105 °C por 24 horas, posteriormente foi resfriada em dessecador até atingir a temperatura ambiente e foi determinada a massa da amostra seca ( $m_A$ ), podendo-se calcular a absorção de água através da seguinte equação:

(6)

$$Abs = \frac{m_B - m_A}{m_A} \cdot 100$$

Onde:

Abs é a absorção de água, expressa em porcentagem;

$m_A$  é a massa da amostra seca em estufa, expressa em gramas;

$m_B$  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas.

#### 4.2 Ensaios para revestimento cimentício com utilização de agregado reciclado

Sabendo que inexistia normativa para produção de revestimentos cimentícios decorativos sem fins estruturais, foram utilizados como base ensaios da NBR ISO 13006 (ABNT, 2020) para placas cerâmicas – Definições, classificação, características e marcação.

Os corpos de prova foram fabricados em laboratório com escala apropriada para os testes realizados, tendo como medida 120 x 60 x 10 mm, com os moldes feitos em *Medium Density Fiberboard* (MDF) conforme imagem a seguir (Figura 7).

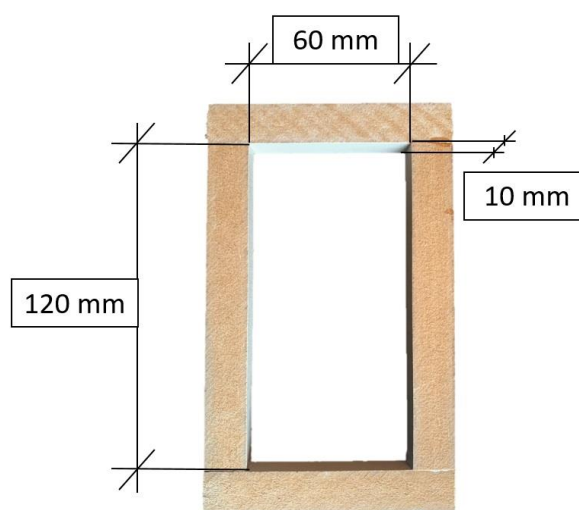


Figura 7 – Molde utilizado para fabricação dos corpos de prova. Fonte: autora (2022).

#### 4.2.1 Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão

Para a realização dos ensaios, tomou-se como base a ABNT NBR 10545 – 4, adaptada para revestimentos cimentícios, onde foram ensaiadas 5 placas de cada teor de substituição. Primeiramente, os corpos de provas foram secos em estufa a 105 °C por um período de 24 horas. Decorrido este tempo, foram retirados da estufa e passaram por resfriamento até atingirem a temperatura ambiente.

Após o resfriamento, cada corpo de prova foi ensaiado individualmente, apoiando-os um a um sobre os suportes de apoio em três pontos referidos na norma e aplicou-se uma carga de 1 N/mm<sup>2</sup> por segundo. Por meio de dados computacionais disponibilizados pelo equipamento utilizado DL 20000 EMIC, da marca Quanteq (Figura 8), foi possível a obtenção de gráficos representando a carga de ruptura e a determinação do módulo de resistência a flexão de cada corpo de prova ensaiado.



Figura 8 – Equipamento de ensaio de flexão, Modelo DL 20000 EMIC, Quanteq utilizado para verificação da resistência de cada corpo de prova. Laboratório de Mecânica UniCesumar.

Fonte: Autora, 2022.

Através dos ensaios de flexão de três pontos obteve-se a resistência de cada corpo de prova (CP), então, com os valores alcançados iniciou-se uma análise estatística, calculando-se

a média entre as resistências de cada um dos 5 corpos de provas com seus diferentes teores de substituição e também o desvio padrão, por meio desses dados desenvolveu-se um gráfico para análise dos resultados.

#### 4.2.1.1 Análise estatística

A fim de comparar os corpos de prova e assim, obter o resultado do melhor teor de substituição de acordo com a resistência à flexão apresentada e consequentemente dar andamento aos ensaios posteriores, aplicou-se o teste Kruskal-Wallis. Este teste estatístico é um método não paramétrico utilizado para comparar três ou mais grupos distintos. Ele é usado para testar a hipótese nula de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de que ao menos duas das populações possuem funções de distribuição diferentes. Se o valor- $p \leq 0,05$ , então a hipótese nula pode ser rejeitada (ALMEIDA, et al; 2022).

Este método foi proposto pelo matemático e estatístico William Henry Kruskal (1919-2005) e pelo economista e estatístico Wilson Allen Wallis (1912 – 1998). As hipóteses testadas foram:

$H_0$ : Em todas as populações que originaram os dados das  $k$  amostras, a variável de interesse segue uma mesma distribuição de probabilidade.

$H_1$ : Dentre as populações que originaram os dados das  $k$  amostras, em pelo menos duas, a variável de interesse segue distribuições de probabilidade que se diferem por um parâmetro de locação (médias diferentes).

Em seguida realizou-se o teste de comparações múltiplas de Dunn, o qual é realizado após o teste de Kruskal-Wallis quando permite-se rejeitar  $H_0$ . A importância da realização deste teste é constatada quando existe diferença entre três ou mais médias, e tem por objetivo averiguar quais dessas médias são significativamente distintas, realizando comparações múltiplas.

#### 4.2.2 Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente

Novos ensaios foram realizados para as amostras com o melhor teor de substituição dentre os traços analisados. Determinou-se então a absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente adaptando a norma NBR ISO 10545 – 3 (ABNT, 2017). Para isso foram utilizados 5 corpos de prova com o melhor teor de substituição.



Inicialmente, os corpos de prova foram cortados ao meio perpendicularmente ao lado mais longo da amostra. Em seguida as peças foram levadas para estufa a 110 °C onde permaneceram por 24 horas. Após decorrido o tempo em estufa foram transferidas para um dessecador sobre sílica-gel para o resfriamento das peças até que atingiram a temperatura ambiente, então realizou-se a pesagem das peças determinando assim a massa da placa seca ( $m_{1(a)}$ ).

Após a secagem e determinação da massa da placa seca, as amostras foram transferidas para um recipiente com água, onde ficaram submersas em água suspensas com uma estrutura de arame com o lado cortado virado para baixo do recipiente, mas sem entrar em contato com o fundo e com uma lamina de 5 cm de água acima das placas. Essas placas ficaram afastadas umas das outras para que o contato entre elas não atrapalhasse a impregnação das peças.

Estas ficaram 5 dias em repouso submersas em água para que se atingisse a saturação dos corpos de prova, então foi realizada uma nova pesagem com os corpos de prova ainda suspensos através de uma estrutura de arame e submersos em água. Para isso foi necessária a pesagem da estrutura de arame, juntamente com o recipiente mais a água suficiente para encobrir a placa em 5 cm, então após a pesagem, a balança era tarada e se adicionava a peça a ser pesada, obtendo-se assim a massa suspensa ( $m_3$ ) do corpo de prova.

Posteriormente à determinação da massa suspensa, utilizou-se um pano de microfibras úmido e a superfície das peças foram enxutas levemente a fim de remover todas as gotas de água visíveis na superfície e assim pode-se determinar a massa saturada ( $m_{2(a)}$ ).

Por meio dos dados obtidos através das massas, pode-se calcular a absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente, seguindo as equações apresentadas na norma norteadora NBR 10545 – 3 (ABNT, 2017).

Nos cálculos, assumiu-se que 1 cm<sup>3</sup> de água equivale a 1 g, onde:

$m_{1(a)}$  é a massa da placa seca;

$m_{2(a)}$  é a massa da placa impregnada pela imersão sob vácuo;

$m_3$  é a massa da placa suspensa impregnada pela imersão sob vácuo

Para o cálculo da absorção de água  $E_v$ , considerou-se a seguinte equação:

(7)

$$E_v = 100 \times \frac{(m_{2(a)} - m_{1(a)})}{m_{1(a)}}$$

Para o cálculo da porosidade aparente:

O volume externo  $V$ , expresso em  $\text{cm}^3$  foi calculado segundo a equação a seguir:

$$V = \frac{m_{2(a)} - m_3}{\rho} \quad (8)$$

O volume dos poros abertos,  $V_0$ , e o volume da porção impermeável,  $V_I$ , expressos em  $\text{cm}^3$ , seguem a seguinte equação:

$$V_0 = m_{2(a)} - m_{1(a)} \quad (9)$$

$$V_I = \frac{m_{1(a)} - m_3}{\rho} \quad (10)$$

Porosidade aparente,  $P$ , expressa em porcentagem, é a relação entre o volume dos poros abertos dos corpos de prova e o seu volume exterior, calculada seguindo a seguinte equação:

$$P = 100 \times \frac{(m_{2(a)} - m_{1(a)})}{V} \quad (11)$$

Para o cálculo da densidade relativa aparente,  $T$ , utilizou-se a seguinte equação:

$$T = \frac{m_{1(a)}}{(m_{1(a)} - m_3)} \quad (12)$$

Densidade aparente,  $B$ , expressa em  $\text{g}/\text{cm}^3$  foi calculada utilizando a equação:

$$B = \frac{m_{1(a)}}{V} \quad (13)$$

#### 4.2.3 Determinação da resistência ao choque térmico

Para a determinação da resistência ao choque térmico utilizou-se como base norteadora a NBR 10545 – 9 (ABNT, 2017, onde 5 corpos de prova foram analisados. Inicialmente, observou-se as placas a olho nu, para verificar possíveis defeitos, visto que nenhum dos corpos apresentou avarias, assim se deu segmento ao ensaio.

Primeiramente os corpos de prova foram colocados em banho de água fria e mantidos em uma temperatura de  $15^\circ\text{C}$  por 15 minutos, imediatamente após o banho, foram transferidos

para estufa com temperatura de 145 °C onde permaneceram por 30 minutos, em seguida foram transferidas novamente para o banho de água fria nas mesmas condições de temperatura inicial, então o processo foi repetido 10 vezes e posteriormente foram analisados os corpos de prova, verificando a existência ou não de defeitos visíveis pela observação a olho nu, com uma distância de 30 cm dos corpos de prova.

#### 4.2.4 Determinação da expansão por umidade

A expansão por umidade é o aumento das dimensões dos materiais cerâmicos, ocasionados pela adsorção de água. Para esta determinação utilizou-se a NBR 10545 – 10 (ABNT, 2017), onde 3 corpos de prova passaram por queima em forno Jung 10010 (Figura 9), a 550 °C por 2 horas e resfriou-se dentro do próprio forno. Quando atingiram a temperatura de 70 °C foram removidos do forno e mantidos em temperatura ambiente por mais 24 horas em um dessecador.



Figura 9 – Forno, Modelo 10010, Jung, 2007, utilizado para verificação da expansão dos revestimentos cimentícios. Laboratório de Fitopatologia UniCesumar. Fonte: Autora, 2022.

Dando sequência, determinou-se o comprimento inicial do corpo de prova, medido duas vezes com um intervalo de 3 horas entre cada medida utilizando um paquímetro de precisão (figura 10).



Figura 10 – Paquímetro digital. Laboratório de Mecânica UniCesumar. Fonte: Autora, 2022.

Com os resultados obtidos através das medições, tornou-se possível a determinação da expansão por unidade através da equação a seguir:

(9)

$$\frac{\Delta l}{L} \times 1000$$

Onde:

$\Delta l$  é a diferença entre os dois valores médios, em mm;

$L$  é o comprimento médio inicial, em mm, do corpo de prova.

### 4.3 Viabilidade econômica

Para o estudo de viabilidade econômica, foi necessário um levantamento de dados detalhado a respeito dos custos da empresa, os quais foram tabelados e avaliados. Para tal avaliação, criou-se uma planilha utilizando o programa Microsoft Excel® (2013), onde todas as despesas foram expressas em porcentagem, permitindo assim uma análise da economia gerada com a substituição parcial dos agregados naturais e cimento, por agregados recicláveis.

Em seguida, foi realizado um estudo sobre os modelos de britadores para possível instalação na própria empresa, buscando modelos que atendessem às necessidades de britagem,

como melhor formato do agregado, quantidade de pasta de cimento e argamassa aderida aos grãos e granulometria.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização dos agregados reciclados

Os resultados obtidos para caracterização dos agregados reciclados encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos agregados reciclados como materiais indesejáveis, argila em torrões e materiais friáveis, sais solúveis e absorção de água

Ensaio	Resultado ensaio (%)	Limite por norma (%)	Norma
<b>Materiais indesejáveis</b>	0	<1	NBR 15116 (ABNT, 2021)
<b>Argila em torrões e materiais friáveis</b>	12,8	<3	NBR 7218 (ABNT, 2010)
<b>Sais solúveis</b>	0	<1	NBR 9917 (ABNT, 2022)
<b>Absorção de água</b>	5,67	<12	NBR 16916 (ABNT, 2021)

Fonte: Autora (2022).

Para a análise de materiais indesejáveis a massa total estudada dos 300 grãos foi de 17,08 g, totalizando 100% da amostra, desta massa, 7,811 g pertenciam ao G<sub>1</sub>, 45,73% e 9,269 g ao G<sub>2</sub>, 54,27%, como pode ser visto na Figura 11. Portanto, pode-se concluir que existe uma presença maior de fragmentos constituídos por rochas, do que os que apresentam pasta de cimento endurecido. Esse resultado deve-se à composição do revestimento triturado para a obtenção do agregado reciclado, visto que a presença de materiais rochosos é maior do que a de cimento no traço utilizado para a fabricação desses revestimentos.

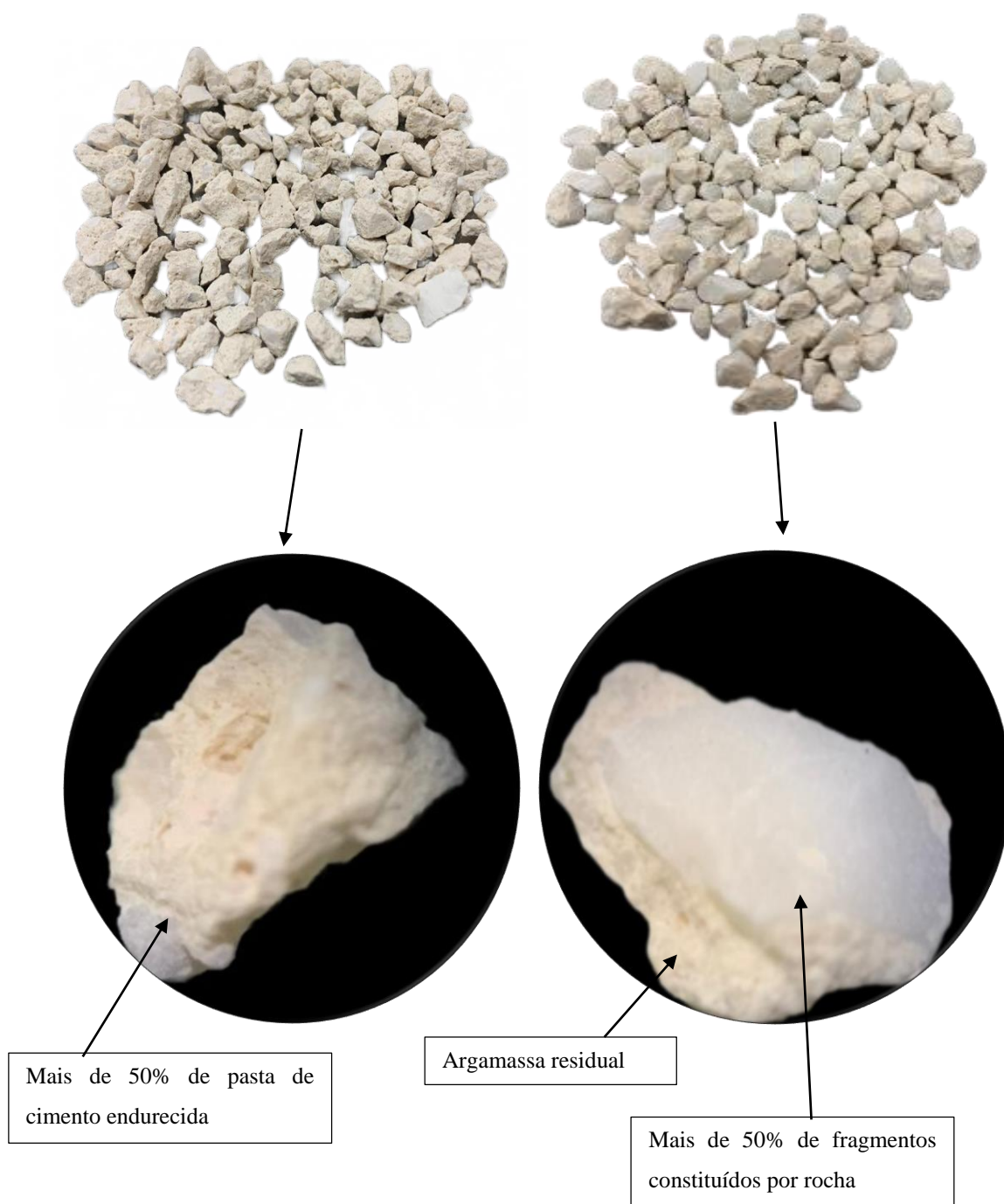


Figura 11 - Agregados reciclados pertencentes aos grupos G<sub>1</sub>, fragmentos que apresentam pasta de cimento endurecida em mais de 50% do seu volume, e G<sub>2</sub>, fragmentos constituídos por rochas em mais de 50%. Fonte: Autora (2022).

Segundo NBR 15116 (ABNT 2021), existe um limite de tolerância de materiais indesejáveis sendo este menor ou igual à 1% da amostra, estes materiais pertencem ao grupo G<sub>4</sub>. Através do ensaio realizado percebeu-se a ausência de grãos pertencentes a este grupo. Portanto, na amostra analisada, não detectou-se a presença materiais indesejáveis, resultado este

já esperado, visto que a origem dos resíduos utilizados para obtenção dos agregados era conhecida e sabia-se de sua qualidade.

A composição dos fragmentos de agregado reciclado está diretamente ligada aos efeitos na produção de concretos, argamassas e também do revestimento cimentício. Algumas propriedades são afetadas por conta da argamassa residual aderida aos grãos, e isso pode gerar alterações na densidade, porosidade e também na absorção de água do produto final (ALBERTE; HANDRO, 2021). Segundo Mcneil e Kang (2013) as partículas de agregado reciclado tem maior índice de desgaste à abrasão quando comparadas as partículas convencionais, devido a fraqueza das ligações criadas pela camada de argamassa residual.

O teor de argila em torrões e materiais friáveis encontrados nos agregados reciclados de  $m_t=12,8\%$ , ultrapassou o limite estipulado pela norma NBR 15116 (ABNT, 2021), a qual determina que este deve ser menor do que 3% de argila em torrões. Contudo, tendo conhecimento da origem e composição dos resíduos utilizados para fabricação dos agregados reciclados, pode-se constatar a inexistência da presença de material argiloso. Acredita-se que esse valor do material encontrado no ensaio representa a parcela de materiais friáveis, ou seja, que são facilmente reduzidos a pó, suscetíveis a serem desfeitos, portanto podem agir como materiais pulverulentos, que segundo a NBR 7219 (ABNT, 1987) são partículas minerais com dimensão inferior a 75  $\mu m$ , inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados, podendo-se relacionar com a resistência final dos produtos.

Esse valor alcançado de materiais friáveis pode estar correlacionado ao fato de que antes do ensaio não foi realizada a retirada de material pulverulento por meio de lavagem, a fim de evitar a geração de sub-resíduos e assegurar a sustentabilidade do reaproveitamento, optou-se por trabalhar com os agregados sem a retirada da fração fina, assim como os estudos de Carasket et al. (2018).

Em agregados reciclados é detectada a presença de um alto teor de materiais pulverulentos, ou seja, passantes na peneira com abertura de malha 75  $\mu m$ , e este fator é um limitante para a utilização dos agregados. Na literatura pode se observar um teor de materiais pulverulentos até 15% para agregados provenientes de resíduos de concreto (RUIPEREZ et al., 2016; KRUGER et al., 2020). Segundo a NBR 15116 (ABNT, 2021), é permitido um teor de até 12% de materiais finos para concretos protegidos de desgastes superficiais, já para os que são submetidos ao desgaste, estes apresentam limite de até 10%.

Como não foi determinado o teor de finos no trabalho em questão, mas sim o teor de argila em torrões e materiais friáveis, justifica-se o valor encontrado para este ensaio, visto que a amostra utilizada foi lavada em peneira com abertura de malha de 600  $\mu m$ , permitindo assim



a passagem de finos, juntamente com os materiais friáveis.

Em seguida, definiu-se o valor de  $m_2$ , para a determinação de sais solúveis no agregado, o qual foi de 0 gramas, constatando assim a ausência destes no material analisado. A NBR 15116 (ABNT, 2021), apresenta como limite tolerável de sais uma porcentagem menor do que 0,1, portanto, a amostra analisada apresenta-se dentro dos limites estabelecidos por norma.

Em relação à absorção de água do agregado reciclado, obteve-se um resultado de 5,67% de absorção. Segundo NBR 15116 (ABNT, 2021), o limite para a absorção de água para agregados de classe ARCI ou ARM é menor do que 12%, apresentando-se assim dentro dos limites estipulados por norma.

A absorção de água é considerada uma das características que mais influenciam na utilização dos agregados reciclados, pois esta pode interferir na trabalhabilidade do material, assim como apresentar uma redução da relação água / cimento. Quanto maior for a absorção do agregado, maior será a necessidade de inserção de água na mistura ou mais água deve ser adicionada na pré- molhagem do agregado (NENO, 2010; JOCHEM, 2012; GIRARDI, 2016).

Os agregados reciclados tendem a absorver mais água quando comparados aos agregados naturais, destaca-se ainda que os agregados reciclados compostos essencialmente de cerâmica, apresentam maior absorção de água (GIRARDI, 2016). Calcado (2015), diz que a alta absorção de água dos agregados reciclados é oriundo da camada de argamassa residual aderida aos grãos.

Para fins de comparação, os ensaios para a caracterização dos agregados reciclados foram repetidos para os agregados naturais. Os agregados naturais utilizados foram adquiridos após processo de britagem, separação e lavagem, portanto, não foram encontrados teores de materiais indesejáveis, argila em torrões e materiais friáveis, sais solúveis e a absorção de água foi menor do que 1%.

Os resultados encontrados na caracterização dos agregados recicláveis encontraram-se dentro dos valores limites estipulados por norma, exceto o teor de argila em torrões e materiais friáveis, fator já discutido anteriormente e justificado pela presença de finos. A presença de materiais finos apresentam melhorias no que se refere ao empacotamento das partículas e é discutido a diante.

## 5.2 Ensaios para revestimento cimentício com utilização de agregado reciclado

### 5.2.1 Determinação de carga de ruptura e módulo de resistência à flexão

Os corpos de prova 10 e 14, apresentaram as melhores características em relação a resistência à flexão, porém, o CP 14 apresentou uma substituição maior em relação ao cimento. Sabendo que o cimento é um insumo básico utilizado na construção civil e que seu processo produtivo demanda um alto custo de consumo energético e lança enormes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera, a redução de seu consumo vai ao encontro de alternativas mais sustentáveis da construção civil, bem como uma forma consciente da utilização de recursos naturais (CANOVA, 2018).

Os valores individuais para a resistência à flexão obtidos para os traços adotados estão apresentados na Figura 12. Os resultados sugerem que a resistência tende a ser maior para os traços 10 e 14. Este mesmo comportamento é verificado pela Figura 13, que exibe o diagrama de caixa (*boxplot*) com os valores individuais da tensão em cada traço.

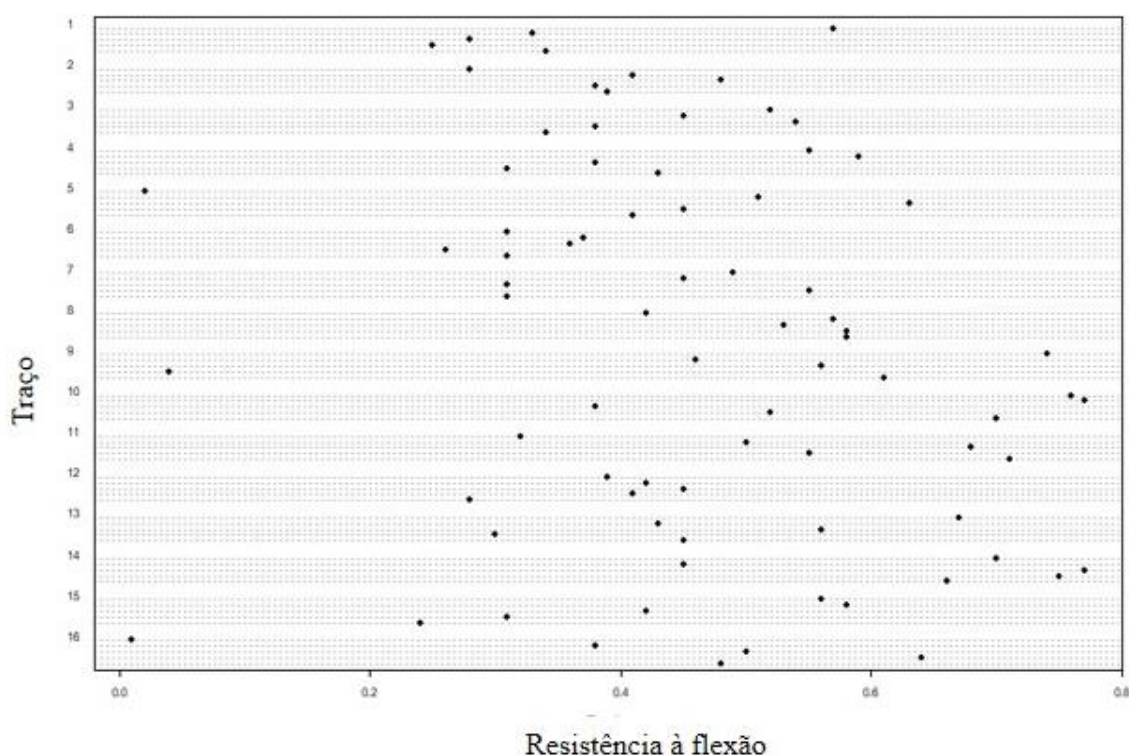


Figura 12 – Valores individuais de resistência a flexão de acordo com os traços, obtidos nos ensaios de resistência a flexão de três pontos. Fonte: Autora (2022).

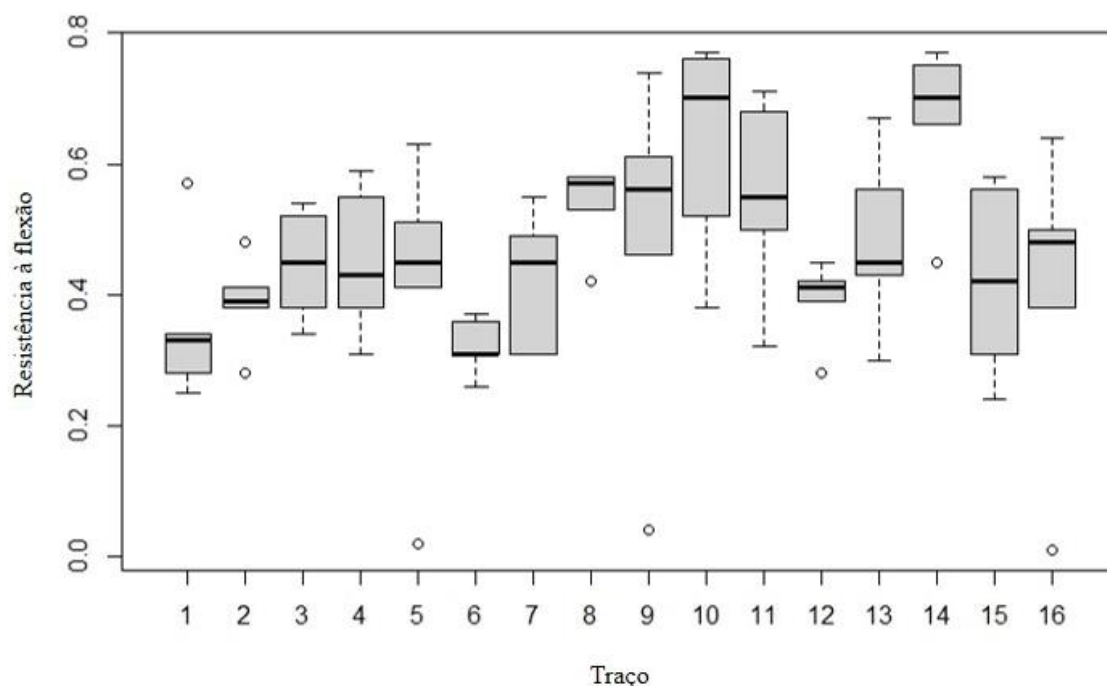


Figura 13 - Diagrama de caixa com valores individuais de resistência a flexão em cada traço.  
Fonte: Autora (2022).

Entretanto, embora os corpos de prova 10 e 14 apresentem, em geral, os maiores valores de resistência à flexão, o corpo de prova 14 possui uma menor variabilidade, implicando em uma melhor precisão dos valores. Os corpos de prova 15 e 16 têm comportamentos semelhantes, em geral, tendo o 16 uma menor variabilidade. Outros traços resultam em valores semelhantes de tensão.

Fator interessante que deve ser destacado em relação aos resultados obtidos foi que o traço utilizado como base (Traço 1) sem nenhuma substituição, apresentou uma resistência média de 0,345 MPa, com desvio padrão de 0,126, e entre os outros traços analisados, somente dois deles apresentaram resistência inferior ao traço base, o traço 6, com 10% de substituição de cimento e 25% de substituição de agregado e o traço 8, com 10% de substituição de cimento e 100% de substituição de agregado.

Para verificar se há diferenças entre os 16 traços, aplicou-se o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis. Adotando um nível de significância de 5% (o que equivale a uma confiança de 95%), rejeita-se a hipótese de igualdade entre a tensão nos 16 traços (Valor  $p = 1,92\%$ ). O que evidencia que pelo menos um dos dezesseis traços tendem a apresentar valores de tensão diferentes dos demais, para o nível de significância estabelecido (5%).

Para identificar quais traços tendem a ser diferentes em relação à variável tensão, utilizou-se o teste de Dunn, conhecido como pós-teste de Dunn e aplicado no caso em que a hipótese nula é rejeitada no teste de Kruskal-Wallis. Novamente, considerando um nível de significância de 5% pode-se observar algumas diferenças entre os traços dos corpos de provas, como pode ser visto a seguir.

Tabela 3 - Diferença entre os corpos de prova, em relação à tensão, de acordo com o teste de Dunn

<b>CP</b>	<b>CP que apresentaram diferença entre os resultados de resistência a flexão analisadas</b>
1	8, 10, 11, 14
10	2, 6, 10
11	6
12	14
14	2, 3, 5, 7, 15, 16
6	8, 9

Fonte: Autora (2022).

Entre os traços com maiores valores médios de tensão estão os traços 11, 10 e 14, não há diferenças significativas em relação aos valores, segundo o teste de Dunn, há 5% de significância. Como o traço 14 resultou em valores de tensão mais próximos entre si, isto é, tem uma menor variabilidade e consequentemente é mais preciso, além de apresentar a maior média de tensão, optou-se pelo traço 14.

A presença de materiais friáveis na composição do agregado reciclado utilizado para fabricação dos CP pode ter interferência direta na resistência a flexão analisada. Assim, quando incorporados à mistura do concreto para a moldagem dos corpos de prova, ocupam espaços antes vazios, contribuindo para um melhor empacotamento das partículas.

Silva e Campiteli (2006) afirmam que é possível a substituição parcial de cimento por materiais pulverulentos da areia de origem calcária, com proporções adequadas otimizando assim suas propriedades. Camarini e Ishikawa (2004), corroboraram que a utilização de materiais abaixo da peneira 0,15 mm, assim como materiais pulverulentos, auxiliam no empacotamento da mistura. Silva, Buest e Campitelli (2005) demonstraram que o teor de finos passantes na peneira de malha 75 µm interfere em várias propriedades da argamassa de

revestimento, inclusive na resistência a flexão.

Canova (2018) realizou a substituição parcial de cimento por finos de britagem em argamassa de revestimento e reportou um aumento na resistência à tração na flexão. Os finos utilizados em sua pesquisa foram limitados ao material passante na peneira 75  $\mu\text{m}$ , visto que em sua maioria apresentavam partículas semelhantes às do cimento. As partículas de cimento comumente apresentam tamanho entre 1 e 50  $\mu\text{m}$ , e os finos de britagem utilizados em substituição parcial do cimento apresentavam-se maiores que as do cimento, permitindo assim um melhor fechamento do pacote granulométrico.

Existe um antagonismo entre pesquisas relacionadas ao uso de agregados reciclados na composição de argamassas, Pedrozo (2008), relata que a substituição da areia por agregado reciclado em até 50% apresenta pouca diferença em relação a resistência da argamassa com o agregado natural, já com uma substituição de 100% nota-se uma pequena redução desta. Essa redução está ligada ao aumento da porosidade dos corpos de provas confeccionados com agregado reciclado (GIRARDI, 2016).

Segundo Calçado (2015), a substituição do agregado natural por agregado reciclado provoca uma redução do módulo de elasticidade nas argamassas, porém, apresenta uma melhora nos valores de resistência mecânica. Por outro lado, Assunção, Carvalho e Barata (2007) atestam que quando utilizado o agregado reciclado, há uma melhora significativa na resistência mecânica, à tração e à flexão.

Girardi (2016) relata que a resistência das argamassas produzidas com utilização de agregado reciclado é variável e pode ser maior ou menor conforme o tipo de material reciclado utilizado, a qualidade da moagem, a heterogeneidade das partículas e do teor de substituição.

Na substituição realizada na presente pesquisa, observou-se uma melhora na resistência dos corpos de prova, visto que o material utilizado apresentou heterogeneidade e variação no tamanho das partículas, permitindo melhor empacotamento e melhorando as características das peças.

#### 5.2.1 Caracterização do revestimento cimentício com utilização de agregado reciclado

Os resultados obtidos para a absorção de água ( $E_v$ ), porosidade aparente (P), densidade relativa aparente (T) e densidade aparente (B) realizados para os corpos de prova para o traço 14 estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados obtidos para os ensaios de absorção de água ( $E_v$ ), porosidade aparente (P), densidade relativa aparente (T) e densidade aparente (B), com seus respectivos desvios padrões.

<b>Absorção de água (%)</b>	<b>10,24 ± 0,22</b>
<b>Porosidade aparente (%)</b>	81,53 ± 4,30
<b>Densidade relativa aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	8,98 ± 0,17
<b>Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	113,68 ± 27,21
<b>Expansão por umidade (mm/m)</b>	0,108 ± 0,044

Fonte: Autora (2022).

A absorção de água é a quantidade de água que um corpo pode absorver em contato com umidade, e está diretamente ligada ao agregado reciclado, visto que este apresenta uma porosidade maior do que o agregado natural, devido a argamassa residual aderida aos grãos, provocando assim uma maior porosidade no revestimento, consequentemente maior absorção de água nas placas (TEIXEIRA, et al; 2018).

No processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, as peças passam por um processo de queima submetidas a altas temperaturas, esta temperatura de queima apresenta relação direta com a absorção de água e também com a expansão por umidade. Segundo Vieira (2016), com o aumento da temperatura de queima dos corpos cerâmicos a porosidade diminui, por consequência, diminui também a absorção de água.

A porosidade de uma peça, como também a absorção de água, dependem de sua composição, plasticidade de processamento, bem como das taxas de aquecimento no processo de queima e das temperaturas máximas atingidas, portanto, a absorção de água está relacionada à temperatura de queima e a composição dos materiais cerâmicos (NASTRI, 2015).

Teixeira et al. (2018), analisou a absorção de água, bem como a expansão por umidade em placas cerâmicas e constatou que a temperatura de queima das peças em seu processo de fabricação interferem diretamente nos índices de absorção de água e expansão por umidade. Diferentemente das placas cerâmicas, as placas cimentícias são moldadas quando ainda estão na forma plástica e atingem sua resistência através do processo de cura do concreto, não necessitando do processo de queima, porém interferindo assim, diretamente na absorção de água e expansão por umidade.

Para a classificação de revestimentos cerâmicos, existe uma normativa específica, a NBR 13006 (ABNT, 2020). Como discorrido anteriormente, inexistente norma regulamentadora

para revestimentos cimentícios, por esta razão, foi necessária uma adaptação normativa, para a aplicação neste tipo de revestimento. No ensaio realizado para determinação da absorção de água encontrou-se um coeficiente  $E_v > 10\%$ , classificando assim como placas de alta absorção.

Visto que o revestimento cimentício não passa por um processo de queima como o revestimento cerâmico, apresenta assim uma maior absorção de água quando comparados os dois materiais. A absorção de água do revestimento cimentício analisado foi de 10,24%, sendo considerado um material de alta absorção. Porém, como já mencionado, a normativa utilizada para a determinação da absorção de água dos corpos de prova de revestimentos cimentícios, foi a mesma utilizada para revestimentos cerâmicos e apresentam processos de fabricação bastante distintos. Placas com alta absorção de água são menos resistentes, por isso devem ser evitadas em ambientes de maior tráfego, porém, as placas analisadas na pesquisa são de revestimento de parede, portanto não são submetidas ao tráfego, o que não limita assim o seu uso.

A porosidade aparente é a relação entre o volume dos poros abertos dos corpos de prova e o seu volume exterior, a densidade relativa aparente é a porção impermeável do corpo de prova e a densidade aparente é a relação de sua massa seca pelo seu volume exterior, todos possuem uma relação direta com a absorção de água.

Segundo estudos realizados por Andrade et al. (2018), sobre a substituição parcial de agregados naturais finos, por agregados reciclados mistos e cerâmicos na produção de argamassas, obtiveram um material com maior porosidade e absorção de água, resultado este que já era esperado, visto que outros autores já discutiram sobre o assunto, como Martínez et al. (2016), que encontraram porosidade de 20,7% a 23,3%. De acordo com Corinaldesi (2009), a maior porosidade em argamassas com incorporação de agregados reciclados está associada à porosidade dos agregados.

A densidade aparente dos agregados reciclados é menor do que dos agregados naturais como foi visto em pesquisas de Andrade et al. (2018), Lima, Toledo, Gomes (2014), Silva, Brito, Veiga (2010) e Silva, Neves, Brito (2014). Esta densidade diminui conforme o nível de substituição dos agregados reciclados aumenta, justamente por conta de a densidade do agregado reciclado ser menor do que o natural.

Assim como na absorção de água, o processo de queima dos materiais cerâmicos estão diretamente relacionados a expansão por umidade (EPU), quanto menor a temperatura no processo de queima da placa, maior será a absorção de água e a expansão por umidade (TEIXEIRA, 2018).

A expansão por umidade em placas cerâmicas tem início desde a saída do forno e continua ocorrendo durante a exposição da peça ao ambiente, ou seja, mesmo depois de

instalada a placa, a expansão ainda ocorrerá (BAUER; RAGO, 2000). Devido o contato da peça com a umidade do meio ambiente, ao longo do tempo a placa continua sofrendo um aumento irreversível, caracterizado pela expansão por umidade (ROSCOE, 2008).

Essa expansão normalmente é lenta e relativamente pequena, mesmo assim, pode levar ao gretamento de peças esmaltadas e comprometer a estrutura dos corpos cerâmicos caso as tensões geradas pela deformação contida nas peças excedam os limites de resistência dos materiais (MENEZES et al, 2003).

O valor recomendado pela norma NBR 13818 (ABNT, 1997) para a expansão por umidade para revestimentos cerâmicos é de 0,60 mm/m, entretanto, o revestimento cimentício apresentou um valor abaixo do esperado, visto que este tipo de revestimento não passa pelo processo de queima e apresenta uma absorção de água relativamente alta. Porém, as peças analisadas não apresentaram interferências consideráveis na expansão por umidade. O comportamento do revestimento cimentício portanto, foi diferente do que se esperava comparado ao revestimento cerâmico, visto que em revestimentos cerâmicos, quanto maior a absorção de água, maior a expansão por umidade e essas duas características estão diretamente ligadas ao processo de queima da cerâmica.

Essa diferença no comportamento das peças deve estar ligada aos materiais utilizados e processo de fabricação do revestimento cimentício, que apresentou comportamento bastante diferente de materiais cerâmicos. No entanto, apresentou-se dentro dos limites estipulados pela norma.

O choque térmico é um fenômeno causado por uma rápida variação de temperatura, provocando tensões térmicas no revestimento as quais podem levar a trincas e até a ruptura do material, essas trincas podem surgir devido aos diferentes coeficientes de dilatação térmica de seus componentes (CRISTANTE NETO, 2019).

No ensaio de resistência ao choque térmico não foram observados defeitos, aparecimento de trincas ou fissuras, conforme pode ser visto na Figura 14. Este resultado relaciona-se à porosidade da peça, visto que em decorrência disto, a peça apresenta alguns vazios em seu interior, permitindo assim uma variabilidade entre a expansão e retração nos materiais que a compõem, sem causar danos perceptíveis às peças.





Figura 14 – Corpos de prova analisados após ensaio para determinação de resistência ao choque térmico, utilizando o teor de substituição 14. Fonte: Autora (2022).

### 5.3 Viabilidade econômica

Tabela 5 – Custos da empresa para a produção dos revestimentos cimentícios.

ID	PLANOS DE CONTA	% SOBRE FATURAMENTO BRUTO	% SUB CATEGORIA
1	Despesas com pesquisa e desenvolvimento	0,288%	
2	Despesas com produção	19,050%	
2.1	Combustível empilhadeira		0,087%
2.2	Compra de embalagens		1,881%
2.3	Equipamento de proteção individual		0,228%
2.4	Frete - entradas de embalagens		0,002%
2.5	Frete - entradas de matéria prima		1,086%
2.6	Locação de equipamentos		0,058%
2.7	Manutenção de equipamentos		0,854%
2.8	Matéria prima		7,809%
2.8.1	Aditivos		1,433%
2.8.2	Agregados		1,659%
2.8.3	Cimento branco		3,421%
2.8.4	Cimento cinza		0,134%
2.8.5	Desmoldante		0,098%
2.8.6	Diversos		0,048%
2.8.7	Fibras		0,372%
2.8.8	Pigmento		0,573%
2.8.9	Tintas		0,057%
2.9	Matéria prima para apoio ao comercial		0,004%
2.10	Materiais de uso e consumo auxiliares da produção		0,232%

2.11	Materiais de uso e consumo do laboratório	0,023%
2.12	MOD - benefícios	0,354%
2.13	MOD - encargos (IRPF, FGTS, INSS)	0,645%
2.14	MOD - exames ocupacionais	0,018%
2.15	MOD - rescisão	0,217%
2.16	MOD - salários	3,314%
2.17	MOD - vale transporte	0,332%
2.18	Serviços terceiros - diretos produção	0,679%
2.19	Serviços terceiros - indiretos produção	0,945%
3	Tarifas bancarias	0,005%
4	Tratamento de efluente e destinação de resíduos	0,278%
5	Despesas com vendas	25,404%
6	Despesas comerciais	2,330%
7	Despesas financeiras	20,137%
8	Despesas jurídicas e cartoriais	0,097%
9	Despesas operacionais	9,914%
10	Investimentos	4,121%
	Percentual de despesas totais sobre faturamento	81,62%
	Margem bruta	18,38%

Fonte: Autora (2022).

De acordo com os dados obtidos para os gastos relacionados à produção da empresa, bem como o teor de substituição adotado dos agregados naturais e cimento, por agregados recicláveis, foi possível estimar a minimização dos custos da empresa relacionados a estes.

No revestimento estudado, o cimento utilizado foi o branco, e obteve-se uma substituição de 30% para os agregados recicláveis, resultando assim em uma economia de 1,026% dos custos com este material para a empresa. Já em relação aos agregados naturais, esta substituição foi de 25%, gerando uma economia de 0,415%, totalizando assim uma redução de 1,441% dos custos com materiais para a produção do revestimento cimentício de parede.

Outro decréscimo encontrado na reutilização dos resíduos gerados pela empresa como agregado reciclado, foi nos custos referentes a transporte, disposição final e aluguel de caçamba *disk* entulho para o recolhimento destes resíduos gerados. A produção de entulho é em torno de 11,5 toneladas/mês, resultando na troca de caçamba a cada 10 dias. De todo o entulho produzido, 60% é composto por revestimentos e os outros 40% são oriundos do processo de lavagem de equipamentos, que também são descartados nestes locais.

Portanto, seria possível a reciclagem de 6,84 toneladas de resíduos por mês,

convertendo-os em agregados para uso no próprio processo produtivo de novos revestimentos, minimizando os custos com caçambas de entulho, visto que a utilização destas, seriam apenas para os resíduos de lavagem de equipamentos, resultando assim em uma caçamba a cada 25 dias, gerando mais economia e menos resíduos.

Quanto ao tipo de britagem, foram analisados dois modelos de britadores, o de mandíbulas e de impacto. Segundo Momber (2002), ao fragmentar os resíduos utilizando britador de mandíbulas, é formada uma zona de ruptura correlacionada a granulometria do agregado natural presente no resíduo. Esta fragmentação ocorre no limite entre as partículas, o que permite uma alta redução do tamanho dos materiais, gerando assim agregados com baixo teor de pasta de cimento e porcentagem de finos consideráveis (ETXEVERRIA et al., 2007).

Kelly e Spottiswood (1982), relatam que existe uma certa diferença entre o formato do agregado reciclado gerado de acordo com o tipo de britagem. Segundo a comparação dos autores, quando utilizado britador de impacto as partículas tendem a apresentar formato cúbico, enquanto no britador de mandíbulas, apresentam formato lamelar. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), as partículas lamelares devem ser utilizadas no máximo 15% em massa dos agregados.

Quando se obtém uma maior taxa de fragmentação na britagem, existe uma tendência na redução do teor de pasta de cimento aderida, conseqüentemente, uma menor taxa de absorção de água. Já agregados com uma menor taxa de fragmentação apresentam produtos com maior absorção de água e baixa resistência mecânica (FIGUEIREDO et al., 2020).

Em estudos realizados por Ulsen et al. (2018), uma comparação entre britador de mandíbulas e de impacto foi realizada, onde obtiveram resultado bastante similar em relação a pasta de cimento ou argamassa residual presentes nas partículas, densidade, porosidade e tamanho das partículas em ambos os processos de britagem. Já em análise feita por Figueiredo et al. (2020), constatou-se uma similaridade nas características químicas, mineralógicas e relação de aspecto dos agregados em ambos os tipos de britagem, porém os agregados provenientes de britagem de impacto geraram um produto final com menor pasta de cimento e finos excessivos.

Através das análises feitas em pesquisas anteriores, buscando um processo de britagem que melhor atendesse às necessidades apresentadas pela empresa, visto que a quantidade de pasta de cimento e argamassa residual aderida, bem como formato dos agregados são fatores de grande importância para absorção de água, empacotamento das partículas e resistência final do produto, optou-se pela indicação da utilização do britador de impacto, para o processo de britagem na empresa.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das análises dos resultados obtidos nos ensaios realizados, algumas considerações sobre a incorporação de agregados reciclados provenientes dos resíduos de revestimentos cimentícios de uma empresa do sul do Brasil, em substituição parcial dos agregados naturais e cimento podem ser feitas.

Foram analisadas as propriedades dos agregados reciclados de acordo com a NBR 15116 (ABNT, 2021), onde constatou-se um aumento na absorção de água e na presença de materiais friáveis. Este resultado já era esperado, visto que em agregados recicláveis existe a presença de argamassa residual aderida aos grãos, tornando assim o material mais poroso, consequentemente, com uma maior absorção de água.

Mesmo com o aumento da porosidade dos agregados, a incorporação destes na confecção dos revestimentos cimentícios, apresentou-se vantajosa quanto a resistência à flexão das peças, visto que a presença de materiais finos auxiliou no empacotamento das partículas, diminuindo assim os espaços vazios nas peças, aumentando sua resistência em mais de 85% quando comparada ao traço referência.

A substituição de cimento em 30% e de agregados naturais por reciclados em 25%, apresentou a melhor resistência à flexão dentre os 16 teores de substituição analisados, comprovando assim a viabilidade da substituição parcial dos agregados naturais e cimento, por agregado reciclado.

Em relação aos custos da empresa com materiais para a produção de revestimentos cimentícios de parede, constatou-se uma redução de 1,441% nos gastos com matéria prima, sem contar a redução de gastos relacionados a destinação correta dos resíduos por ela gerados.

Para a análise de viabilidade econômica e tempo de retorno do investimento, faz-se necessário o orçamento para a implementação do britador na empresa, bem como o lucro obtido pela empresa com a venda dos produtos. Os dados relacionados aos lucros são confidenciais por parte da empresa, portanto não puderam ser descritos no trabalho, porém a porcentagem de minimização dos custos em relação ao cimento branco foi bastante expressiva, sendo esta de 30%, resultando em uma economia de 1,026% dos custos totais da empresa, e 25% de economia com agregados naturais, 0,415% dos custos totais.

Os resultados obtidos na pesquisa foram bastante satisfatórios, visto que o revestimento produzido com a utilização de agregados recicláveis apresentou melhores resultados à flexão que os revestimentos sem substituição (traço referência), associando assim economia com sustentabilidade.

A utilização dos agregados recicláveis corrobora com um desenvolvimento mais sustentável, auxiliando no atendimento de alguns dos objetivos de desenvolvimento sustentável, propostos pela ONU na agenda 2030 como: indústria, inovação e infraestrutura; cidades e comunidades sustentáveis e consumo e produção responsáveis.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. Panorama 2021. **Abrelpe**, p. 54, 2021.

ADAMS, C. A.; FROST, G. R. Integrating sustainability reporting into management practices. **Accounting Forum**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 288–302, 2008.

AFFONSO, F. J. A. Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em camadas drenantes de aterros sanitários. Rio de Janeiro, 2005. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

AIGBAVBOA, C; OHIOMAH, I; ZWANE, T. Sustainable Construction Practices: “a Lazy View” of Construction Professionals in the South Africa Construction Industry. **Energy Procedia**, [s. l.], v. 105, p. 3003–3010, 2017.

ALBERTE, E. P. V.; HANDRO, J. B. Estado do conhecimento acerca de especificações técnicas e normativas para agregados reciclados de RCD. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 3, p. 305–320, 2021.

ALMEIDA, D. C. et al. Utilização dos testes estatísticos Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para avaliação de sistemas de solos reforçados com geotêxteis. **Revista matéria**, v. 27, n. 2, 2022.

ARAUJO, A. G. de. Desenvolvimento de *spin-off* utilizando revestimento 3D estabilizado com gesso, cimento e CCA. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação) Escola de Ciência e Tecnologia – EC&T, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte- UFRN, Natal, 2019.

ASHBY, M; JOHNSON, K. Materials and Design: The art and science of materials selection in product design. **Oxford** : Butterwoth-Heinemann, 2002.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACION. NM 46. Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75mm, por lavagem. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7218. Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9917. Agregados para concreto – Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15463. Revestimentos Cerâmicos: Porcelanato. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-2. Placas Cerâmicas Parte 2: Determinação das dimensões e qualidade superficial. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-3. Placas

Cerâmicas Parte 3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-4. Placas Cerâmicas Parte 4: Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-8. Placas Cerâmicas Parte 8: Determinação da expansão térmica linear. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-9. Placas Cerâmicas Parte 9: Determinação da resistência ao choque térmico. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-10. Placas Cerâmicas Parte 10: Determinação da expansão por umidade. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-12. Placas Cerâmicas Parte 12: Determinação da resistência ao congelamento. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-13. Placas Cerâmicas Parte 13: Determinação da resistência química. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-14. Placas Cerâmicas Parte 14: Determinação da resistência ao manchamento. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-16. Placas Cerâmicas Parte 16: Determinação de pequenas diferenças de cor. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15116. Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9935. Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16916. Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, RJ. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16917. Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, RJ. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 13006. Placas Cerâmicas – Definições, classificação, características e marcação. Rio de Janeiro, RJ. 2020.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G. F.; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado. *Exacta*, v.5, n.2, p. 223-230, jul./dez. São Paulo, 2007.

AWOYERA, P. O. et al. Benefits of using ceramic tile waste for making sustainable concrete. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, v. 43, n. 3, p. 233–241, 2017.

ABRELPE. Panorama 2021. **Abrelpe**, p. 54, 2021.

ALBERTE, E. P. V.; HANDRO, J. B. Estado do conhecimento acerca de especificações técnicas e normativas para agregados reciclados de RCD. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 3, p. 305–320, 2021.

ANDRADE, O. J. J. et al. Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 70–83, 2018.

BAUER, R. J. F.; RAGO, F. Expansão por Umidade de Placas Cerâmicas para Revestimentos, Cerâmica Industrial. 2000.

BEZERRA, I. M. T. et al. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 639–645, 2011.

BLENGINI, GIAN ANDREA, ELENA GARBARINO, K. Z. D. Sustainability Evaluation of Natural and Recycled Aggregates Through. p. 299–306, 2008.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2002.

BRASIL, Lei 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de fevereiro de 1998, e dá outras providencias.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Literature review: Reuse of construction and demolition waste in the construction industry. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 178–189, 2015.

CAETANO, A. L. A. et al. Obtenção de cerâmica de revestimento sustentável desenvolvida com resíduos industriais. **Cerâmica industrial**, v. 26, n. 1, p. 1–11, 2021.

CALCADO, G. C. S. Influência da adição de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho de argamassas de cimento Portland. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica, Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

CAMARINI, G.; ISHIKAWA, P. Propriedade de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural. Anais... Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, 2009, São Paulo, 2004.

CAMPOS, K. F. Desenvolvimento de Sistema de Fixação de Fachada Ventilada com Porcelanato de Fina Espessura. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CANOVA, J. A. Substituição do cimento por finos de britagem em argamassa de revestimento. **Ciência & Engenharia**, v. 26, n. 2, p. 11–19, 2018.



CARASEK, H. et al. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. **Cerâmica**, v. 64, n. 370, p. 288–300, 2018.

CARNIELLE, R. O. A. Caracterização das Construções com madeira em Uberlândia: Patologias, projetos e detalhes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. Construção Civil registra aumento de 150% na geração de emprego. Agência CBIC, 02/2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-civil-registra-aumento-de-150-na-geracao-de-emprego/>. Acesso em 13/04/2022.

CBIC PIB da construção fecha o ano com crescimento de 9,7%, a maior alta em 11 anos. Agência Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), 03/2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/piib-da-construcao-fecha-o-ano-com-crescimento-de-97-a-maior-alta-em-11-anos/>. Acesso em: 13/04/2022.

CIOCCHI, Luiz Carlos. Como montar um serviço de revestimentos de pisos e paredes. Sebrae, 2014. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-um-servico-de-revestimentos-de-pisos-e-paredes,e6797a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 03/03/2022.

CORINALDESI, V. Mechanical behavior of masonry assemblages manufactured with recycled-aggregate mortars. *Cement & Concrete Composites* 31: Elsevier, 2009.

CRISTANTE NETO, A. Estudo comparativo da resistência ao dano por choque térmico em refratários para conjunto de porta ventos de alto-forno. Dissertação (mestrado em Materiais Metálicos, Cerâmicos e Poliméricos) - Escola de engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena. 2019.

CUNHA, T. A. Utilização da viga vagão formada por peças retangulares de madeira para sustentação de fôrmas para concreto. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

DAMO, G. F. Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concretos de Cimento Portland. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

DE SOUSA F. G; DE MELO, C. E. L. Estudo das características físicas e hidráulicas de concretos permeáveis com RCD. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 26, p. 205–218, 2020.

DI DOMENICO, P. et al. Influência do agregado miúdo reciclado na resistência à compressão e porosidade do concreto. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 129–147, 2018.

DING, Z; WANG, Y; ZOU, P. X. W. An agent based environmental impact assessment of building demolition waste management: Conventional versus green management. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 1136–1153, 2016.

DOMINGUES, D. Contribuição ao estudo de dosagem do concreto com agregado de RCD. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade da Amazônia, Belém. 2013.

DOS REIS, G. S. et al. Current applications of recycled aggregates from construction and demolition: A review. **Materials**, v. 14, n. 7, p. 1–21, 2021.

ELKINGTON, J. Measuring Business Excellence : EmeraldInsight. 2013. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/action/showMostReadArticles?journalCode=mbe>. Acesso em: 07/03/2022.

ETXEBERRIA, M. et al. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 5, p. 735-742. 2007.

EVANGELISTA, P. P. DE A.; BASTOS COSTA, D.; ZANTA, V. M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 3, p. 23–40, 2010.

FERREIRA, G. E; PEREIRA, L. S. Mercados de agregados no Brasil. In: ALMEIDA, Salvador Luiz M. de; LUZ, Adão Benvindo da. Manual de agregados para a construção civil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. Cap. 1, p. 3-29. 2009.

FERREIRA, R. L. S. et al. Evaluation of the physical, chemical and mineralogical properties of the fine fraction (<150 µm) of the recycled CDW aggregate. **Cerâmica**, v. 65, n. 373, p. 139–146, 2019.

FIGUEIREDO, P. O. et al. Influência dos métodos de britagem nas propriedades do agregado reciclado de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 99-111, 2020.

FROTTÉ, C. et al. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Materia**, v. 22, n. 2, 2017.

GEBREMEDHIN, N.; ROTICH, G. K. Manufacturing of Bathroom Wall Tile Composites from Recycled Low-Density Polyethylene Reinforced with Pineapple Leaf Fiber. **International Journal of Polymer Science**, v. 2020, 2020.

GIAMUSSO, S. Manual do concreto. São Paulo: Pini, 1992. Serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas. **Relatório de Inteligência: Mercado de Revestimento Cimentício**. Rio de Janeiro: Sebrae Inteligência Setorial, 2017. Disponível em: <https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/relatorios-de-inteligencia/mercado-de-revestimentos-cimenticios/5919ba35034b1e18001b1f0a>. Acesso em: 08/03/2022.

GIRARDI, A. C. C.. Avaliação da substituição total de areia natural por RCD em revestimentos de argamassa. 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

GILBERT SILVIUS, A. J. et al. Considering sustainability in project management decision making; An investigation using Q-methodology. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 35, n. 6, p. 1133–1150, 2017.

GHANBARI M, ABBASI AM, RAVANSHADNIA M. Production of natural and recycled aggregates: the environmental impacts of energy consumption and CO2 emissions. **J Mater Cycles Waste Manag**; v.20; p. 810–822, 2018.

GOMES, C. L.; POGGIALI, F. S. J.; AZEVEDO, R. C. DE. Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica TT - Concretos with recycled aggregates of construction and demolition waste and mineral additions: a bibliographic analysis. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 2, 2019.

GRABASCK, J. R. Aspectos e Impactos Ambientais decorrentes da extração de agregado natural e produção de agregado reciclado: estudo de caso no RS. p. 168, 2016.

GRUBLER, T. H.; Estudo comparativo entre os métodos construtivos *light steel frame*, alvenaria convencional e alvenaria estrutural. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - UNIJUÍ, Ijuí, RS, 2021.

HOFMANN, G. A. A. Tratamento de Juntas Invisíveis em Placas Cimentícias no fechamento de sistemas light steel framing. . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2015.

JOCHEM, L.F. Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: Características físicas e propriedades da microestrutura. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

JOHN, V. M; CINCOTTO, M. A. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Gesso de Construção Civil. p 727-760, 2007.

KELLY, E. C.; SPOTTISWOOD, J. **Introduction to mineral processing**. New York: John Willey, 1982.

KRUGER, P. et al. Influência do teor de material pulverulento ( $<75\ \mu\text{m}$ ) do agregado miúdo de resíduos de construção e demolição em argamassas de cimento Portland. **Cerâmica**, v. 66, n. 380, p. 507–515, 2020.

LEONE, L. et al. Recomendações para a execução de revestimento de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos. p. 20, 1998.

LIMA, F; ARANHA, E. O uso dos materiais naturais na arquitetura. **Archidomus**. São Paulo, 2007.

LIMA, P.R.L; TOLEDO FILHO R. D; GOMES O. F. M. Influência do agregado reciclado no comportamento reológico de argamassas cimentícias, **Key Eng. Mate**. v. 600, p. 297–307, 2014.

LUCAS, C. N. M. Concretos leves com agregados reciclados: Propriedades físico-mecânicas e térmica. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2021.

LUZ B, ALMEIDA SL, editores. Manual de Agregados para Construção Civil. 2ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, p. 432, 2012.

MALTA, J. O., SILVEIRA, V. S., GONÇALVES, J. P., et al., —Influência da pré-saturação do agregado miúdo reciclado na viscosidade e resistência à compressão de argamassas, *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, pp. 85-98, 2013

MARQUES, A. C. et al. Revestimento Cimentício Composto Por Resíduos Da Construção Civil E Lama De Mármore E Granito. p. 1–6, 2017.

MARQUES, A. C.; CAMPOS, A.; MATIAS, R. Revestimento cimentício composto por resíduos da construção civil e resíduo agrícola - palha de milho. p. 1–5, 2018.

MARQUES, H. F. et al. Reaproveitamento de resíduos da construção civil: a prática de uma usina de reciclagem no estado do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 21912–21930, 2020.

MARTÍNEZ, R, A; SOLÍS, G. J; MARRERO, M. Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks. *Ecological Indicators*, [s. l.], v. 69, p. 66–77, 2016.

MARTINS, F. G. Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte – estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Ciências, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2012.

MASUERO, A. B. Desafio da Construção Civil: crescimento com sustentabilidade ambiental. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 4, p. 13123, 2021.

MCNEIL, K.; KANG, T. H. Recycled concrete aggregates: a review. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 7, n. 1, p. 61-69, 2013.

MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 2, p. 365–385, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MENEZES, R. R. et al. Análise da expansão por umidade e absorção de água de pisos cerâmicos comerciais em relação à composição química e à quantidade estimada de fase vítrea. **Cerâmica**, v. 49, p. 72 - 81, 2003.

MESA, J. A.; FÚQUENE-RETAMOSO, C.; MAURY-RAMÍREZ, A. Life Cycle Assessment on Construction and Demolition Waste: A Systematic Literature Review. **Sustainability**, v. 13, n. 14, p. 7676, 2021.

MINUZZI, R. de F. B. A formação do designer de superfície na UFSM X a atuação do designer em empresa cerâmica de SC no contexto da gestão do design. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MOMBER, A. W. The fragmentation of cementitious composites in a jaw breaker. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, v. 38, n. 2, p. 151-164, 2002.

MÜLLER, L. N. P. E S. et al. Uma análise multicritério de alternativas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos do município de Juazeiro do Norte no Ceará. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 159–170, 2021.

NASTRI, S. Expansão por Umidade de Revestimentos Cerâmicos: Métodos de Medidas e Variáveis Envolvidas, 108p. (Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais). UFSCAR. São Carlos. SP. 2015.

NENO, C. J. F. Performance of mortar with incorporation of fine aggregate from crushed of concrete – Integration of CDW. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Dez, 2010.

NASCIMENTO, C. F. G. DO et al. Viabilidade Da Substituição Parcial Do Resíduo De Construção Civil Pelo Agregado Miúdo Nas Propriedades Físicas E Mecânicas Do Concreto. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62073–62081, 2020.

NEVES, R.; DE BRITO, J. Estimated service life of ordinary and high-performance reinforced recycled aggregate concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 46, n. December 2021, p. 103769, 2022.

OLIVEIRA, M. P. de. Materiais Compósitos à Base de Gesso contendo EVA (Etileno Acetato de vinila) e Vermiculita: Otimização de Misturas e Propriedades Termomecânicas. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

PASSUELLO, A. C. B. et al. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 7–20, 2014.

PEDROZO, R. F. E. Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos. 2008. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

PENTEADO, C. S. G.; ROSADO, L. P. Comparison of scenarios for the integrated management of construction and demolition waste by life cycle assessment: A case study in Brazil. **Waste Management and Research**, v. 34, n. 10, p. 1026–1035, 2016.

RIBEIRO, B. M. G.; MENDES, C. A. B. A avaliação de parâmetros na estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 7, n. 3, p. 422-443, 2018.

ROSADO, L. P. et al. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 634–642, 2017.

ROSCOE, M.T. Patologias em Revestimento Cerâmico de Fachada. (Monografia apresentada ao curso de especialização em construção civil da escola de engenharia da UFMG), 2008.

RUIPEREZ, C. M. et al. Argamassas de alvenaria leves feitas com argila expandida e agregados reciclados. **Construção e Materiais de Construção**, v. 118, p. 139-145, 2016.

SAMANI, Pouya et al. A sustainability assessment of advanced materials for novel housing solutions. *Building and Environment*, [s. l.], v. 92, p. 182–191, 2015.

SANTOS, F. S.; AZEREDO, P. H. A.; NEVEU, D. M. Avaliação de concreto sustentável contendo teores de resíduos de agregados reciclados. *Brazilian Journal of Development*, [S.L.], v. 6, n. 7, p. 45457 - 45471, 2020.

SANTOS R., J. Estudio para tratar de identificar posibles aplicaciones industriales para los residuos generados en el proceso de corte y elaboración de piedra natural, em concreto del mármol, analizando su viabilidad técnica y económica. Tese (Mestrado) - Universitat Politècnica de Catalunya, España, 2004.

SCHEIFER, D. M.; CALLEJAS, I. J. A. Physical and mechanical characterization of concrete blocks with the incorporation of sand aggregate from construction waste. **Revista Materia**, v. 26, n. 4, 2021.

SCHILLER, A. P. S. Análise do uso de resíduos da construção civil como substituinte parcial do aglomerante em argamassa de revestimento. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Relatório de Inteligência: Mercado de Revestimento Cimentício. Rio de Janeiro: Sebrae Inteligência Setorial, 2017. Disponível em: <https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/relatorios-de-inteligencia/mercado-de-revestimentos-cimenticios/5919ba35034b1e18001b1f0a>. Acesso em: 09/03/2022.

SILVA, A; NEVES, R; BRITO, J; Modelação estatística da carbonatação em betão armado, *Cem. Concr. Compos.* 50 p. 73–81, 2014.

SILVA, J; BRITO, J; VEIGA, R. Resíduos cerâmicos de construção e demolição de barro vermelho reciclado para produção de argamassas, **J. Mater. Civ. Eng.** v. 22 (3), p. 236–244, 2010.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. *Anais... Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 11, 2006, Florianópolis, 2006.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. A influência do fíler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento. *Anais... Seminário o Uso da Fração Fina da Britagem*, 2 ,2005, São Paulo, 2005.

SILVA, O. H. et al. Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil. **Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (REGET)**, v.19, p. 39-48, 2015.

SILVA, D. DE A. E; MELO, C. E. L. DE. Utilização de material cerâmico proveniente do RCD para aplicação em concreto: uma revisão. **Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo**, v. 19, p. 1-15, 2021

SILVA, G. T. M. et al. Resíduos de construção e demolição em tecnologia de concreto: uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 46883-46896, 2020.

STRAPASSAO, H. et al. Reciclagem De Resíduos Da Construção Civil No Município De Lages, Sc. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 713, 2019.

TAM, V. W. Y; LU, W. Construction waste management profiles, practices, and performance: A cross-jurisdictional analysis in four countries. **Sustainability (Switzerland)**, v. 8, n. 2, p. 1–16, 2016.

TEIXEIRA, G. T. et al. Resistência de aderência à tração de placas cerâmicas, com variação da expansão por umidade e absorção de água, utilizando simples e dupla olagem. **Cerâmica industrial**, v. 23, n. 2, p. 22–30, 2018.

ULSEN C, KAHN H, ÁNGULO S, VANDERLEY J. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo. **Revista Escola de Minas**, v. 63; n 2, p. 339-346, 2010.

ULSEN, C. et al. Concrete aggregates properties crushed by jaw and impact secondary crushing. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 1, p. 494-502, 2018.

VÁZQUEZ, E. Recycled aggregates for concrete: problems and possible solutions. **International Journal of Earth & Environmental Sciences**, v. 1, p. 1-5, 2016.

VIANA NETO, L. A. DA C.; SALES, A. T. C.; SALES, L. C. Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland. **Revista Materia**, v. 23, n. 1, 2018.

VYNCKE, J.; VRIJERS, J. Recycling of C&D waste in Belgium: state-of-the-art and opportunities for technology transfer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS AND TECHNOLOGIES, 2., Ancona, 2010. **Proceedings [...]** Ancona, 2010.

WANGRAKDISKUL, U. Sustainable unglazed and low sintering temperature wall tiles by reutilizing sediment soil from the water supply treatment process and glass cullet. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 42, n. 5, p. 1117–1124, 2020.

ZHANG, Y. et al. A review of life cycle assessment of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 209, p. 115–125, 2019.