UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

OLÍMPIO JOSÉ TORRES MENDONÇA

USO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda
Orientador

Profª. Dra. Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo
Coorientadora

RECIFE, PE
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

OLÍMPIO JOSÉ TORRES MENDONÇA

USO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

Dissertação de Mestrado encaminhada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda.

Coorientadora: Profa. Dra. Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo.

RECIFE, PE
2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade Rural de Pernambuco

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Sistema Integrado de Bibliotecas

Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M539u JOSÉ TORRES MENDONÇA, OLIMPIO

USO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL / OLIMPIO JOSÉ TORRES MENDONÇA. - 2023.130 f. : il.

Orientadora: Dr. Romildo Morant de Holanda.

Coorientadora: Dra. Fernanda Wanderley Correa de Araujo.

Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2023.

1. resíduos da construção civil e demolição. 2. bloco de concreto reciclado. 3. resíduos da construção civil . 4. legislação ambiental.. I. Holanda, Dr. Romildo Morant de, orient. II. Araujo, Dra. Fernanda Wanderley Correa de, coorient.III. Título

CDD 620.8

OLIMPIO JOSÉ TORRES MENDONÇA

USO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

BANCA EXAMINADORA

_____

_____

_____

Confirmo que as alterações foram realizadas conforme sugestões recebidas da banca avaliadora.

Recife, de de 2023.

_____

Orientador Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

Dedico esse trabalho a Deus, sobre todas as coisas, meus pais e minha esposa e filho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me inspirar e manter a minha vontade de sempre aprender e crescer como profissional e como pessoa.

Aos meus pais Olimpio Mendonça de Souza (*in memoriam*) e Teresinha Torres Mendonça, a minha esposa e filho, Adriana R. Arraes Mendonça e Thiago Arraes Mendonça, pelo apoio, incentivo e carinho.

Ao meu orientador Dr. Prof. Romildo Morant de Holanda e a Coorientadora Profa. Dra. Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo, pela paciência, apoio e dedicação na orientação da minha pesquisa.

Ao meu cunhado Gustavo Arraes, por ter fornecido local para produção do blocos de concreto reciclado, sem isso, essa pesquisa não seria possível.

A Ciclo Ambiental, por fornecer informações valiosas sobre produção e custos do Resíduos de Construção e Demolição - RCD.

Ao gerente do Laboratório do Laboratório de Ensaios Tecnológicos de Materiais da Construção Civil - LETMACC, do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI - PE, Daniel Bruno, aos funcionários do laboratório, Nelson e Sérgio e a professora Albana, que possibilitaram a realização dos ensaios laboratoriais.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - PPEAMB da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE e a própria Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, pela dedicação, apoio e empenho em nos fornecer os conhecimentos necessários para desenvolvermos nossas pesquisas.

Aos colegas do Mestrado pela troca de experiência e companheirismo.

E todos aqueles que direta ou indiretamente foram importantes para a finalização desse trabalho de pesquisa.

Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, eles são a abertura para achar as que estão certas.

(Carl Sagan).

RESUMO

A disposição de resíduos de construção e demolição (RCD) tem sido um problema recorrente nas cidades brasileira, em especial, em locais de difícil acessibilidade, como nos bairros situados em morros e que são considerados locais de vulnerabilidade. Segundo a Resolução do CONAMA nº 307/2002, os resíduos da Classe A são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis em condições para serem utilizados como matéria-prima ou produto. O objetivo deste trabalho de pesquisa é reaproveitar o Resíduo de Construção e Demolição , em especial, o de Classe A (Resolução do CONAMA nº 307/2002). Diante da necessidade de reduzir o impacto ambiental, na extração dos agregados naturais, tem-se buscado uma alternativa que visa essa redução, o reaproveitamento dos RCD, como agregado, tem sido uma solução viável, pois podem ser usados na fabricação de produtos pré-moldados de concreto simples. Esta pesquisa realizou a coleta de RCD, nos bairros de Casa Amarela, Alto José do Pinho, Alto José Bonifácio, Nova Descoberta e Vasco da Gama, localizados em morros da cidade do Recife, em seguida os RCD passaram por um processo simples de trituração, onde se obteve o Agregado Graúdo Reciclado (AGR), após essa etapa, foi realizado a caracterização em laboratório, dos Agregados Naturais (AN) e do Agregado Reciclado. Após a caracterização do AGR (curva granulometria, percentual de absorção de água, massa específica). O percentual de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado, foi de 0%, 25%, 50% e 100%. Foram realizados os ensaios físico e mecânicos dos blocos (análise dimensional, área líquida e bruta, massa especifica, resistência à compressão e percentual de absorção de água). O processo de moldagem foi manual, ou seja, baixa compactação do concreto dentro da forma contribuiu para a perda da resistência à compressão. Constatou-se que 50% das amostras individuais do BCR 25 e do BCR 50, ficaram acima de 3,0 MPa, já nas amostras dos BCR 100, 83,33 % ficaram abaixo desse valor. O índice médio de absorção de água das amostra ficaram abaixo dos 10% determinado pela Norma Técnica ABNT NBR 6136 (2013). Observado que a relação entre o percentual de RCD e sua massa específica são inversamente proporcionais. Em relação aos custos de produção do Bloco de Concreto Reciclado (BCR), mesmo no período da pandemia da COVID-19, apresentaram valores para o BCR 25 - R$ 2,75, BCR 50 - R$ 2,63, BCR 100 - R$ 2,40, considerando viáveis a sua produção.

Palavras-chave: resíduos da construção civil e demolição; bloco de concreto reciclado; legislação ambiental.

ABSTRACT

The disposal of construction and demolition waste (CDW) has been a recurrent problem in Brazilian cities, especially in places with difficult access, such as neighborhoods located on hills and which are considered places of vulnerability. According to CONAMA Resolution No. 307/2002, Class A waste is reusable or recyclable waste in conditions to be used as raw material or product. The objective of this research work is to reuse Construction and Demolition Waste, especially Class A (CONAMA Resolution No. 307/2002). Faced with the need to reduce the environmental impact, in the extraction of natural aggregates, an alternative has been sought that aims at this reduction, the reuse of RCD, as an aggregate, has been a viable solution, as they can be used in the manufacture of pre-processed products. simple concrete moldings. This research carried out the collection of CDW in the neighborhoods of Casa Amarela, Alto José do Pinho, Alto José Bonifácio, Nova Descoberta and Vasco da Gama, located on hills in the city of Recife, then the CDW underwent a simple crushing process, where the Recycled Large Aggregate (AGR) was obtained, after this step, the characterization in the laboratory of the Natural Aggregates (AN) and the Recycled Aggregate was carried out. After the characterization of the AGR (granulometry curve, percentage of water absorption, specific mass). The percentage of replacement of coarse natural aggregate by coarse recycled aggregate was 0%, 25%, 50% and 100%. Physical and mechanical tests of the blocks were carried out (dimensional analysis, net and gross area, specific mass, compressive strength and percentage of water absorption). The molding process was manual, that is, low compaction of the concrete inside the formwork contributed to the loss of compressive strength. It was found that 50% of the individual samples of BCR 25 and BCR 50 were above 3.0 MPa, whereas in the samples of BCR 100, 83.33% were below this value. The average water absorption rate of the samples was below 10% determined by Technical Standard ABNT NBR 6136 (2013). Observed that the relationship between the percentage of RCD and its specific mass are inversely proportional. Regarding the production costs of the Recycled Concrete Block (BCR), even in the period of the COVID-19 pandemic, they presented values for BCR 25 - R$ 2.75, BCR 50 - R$ 2.63, BCR 100 - BRL 2.40, considering its production viable.

Keyword: construction and demolition waste; recycled concrete block; environmental legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados Relativos à coleta dos RCD por Regiões 16

Figura 2. Fluxograma da Metodologia 41

Figura 3. Coleta de RCD morros Recife/PE 43

Figura 4. Fluxograma do processo quarteamento da amostra 44

Figura 5. Resultado final do processo de trituração 45

Figura 6. Fluxograma do processo de quarteamento da amostra 47

Figura 7. Verificação da umidade ótima do concreto. 50

Figura 8. Análise da umidade ótma do concreto seco 50

Figura 9. Percentuais de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado: 25% 50% e 100% 52

Figura 10. Agregados usados nessa pesquisa: a) Brita; b) Areia 0; c) Agregado graúdo reciclado 53

Figura 11. Forma de madeira 90 mm x 190 mm x 390 54

Figura 12. Fluxograma do processo de produção do bloco 55

Figura 13. Processos de cura: a) Natural; b) Cura Térmica; c) Cura via câmara úmida 57

Figura 14. Processo de quarteamento: a) mistura; b) divisão partes iguais; c) mistura partes e ensacamento 62

Figura 15. Resultado da gravimetria: (a) pesagem areia , (b) brita zero , (c) agregado reciclado e (d) mesa vibratória para peneira ensaio granulometria 63

Figura 16. Gravimetria dos RCD coletados 60

Figura 17. Curva Granulometrica agregado miúdo natural 64

Figura 18. Curva granulométrica do agregado graúdo natural brita zero 65

Figura 19. Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado 66

Figura 20. Ensaio de absorção de água dos BR e BCR: pesagem (a), secagem(b), amostra submersa tanque (c), e pesagem superfície úmida saturada (d) 78

Figura 21. Pesagem do bloco submerso na balança hidrostática 79

Figura 22. Índice médio de absorção de água dos blocos BC, BCR25, BCR50 e BCR100 80

Figura 23. Massa Específica Seca blocos x Índice de Absorção 81

Figura 24. Capeamento das amostras 81

Figura 25. Resultados resistência à compressão individuais das amostras BC 82

Figura 26. Resultados resistência à compressão individuais das amostras BCR25 82

Figura 27. Resultados resistência à compressão individuais das amostras BCR 50 83

Figura 28. Resultados resistência à compressão individuais das amostras BCR 100 83

Figura 29. Média das Resistências à compressão das Amostras BC, BCR25, BCR50 e BCR 100 84

Figura 30. Massa específica individual das amostra x Fbk est 87

Figura 31. Características das rupturas no ensaio de resistência à compressão amostras BC, BCR25, BCR 50 e BCR 100 88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões dos Blocos de Concreto 38

Tabela 2. Designação por Classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes 39

Tabela 3. Quantidade de blocos para realização dos ensaios 51

Tabela 4. Valores de ψ em função da quantidade de blocos 52

Tabela 5. Formulação dos traços em volume 53

Tabela 6. Gravimetria dos RCD Coletados 63

Tabela 7. Material Pulverulento agregados graúdos natural e reciclado 66

Tabela 8. Massa específica dos agregados do agregado seco e saturado usados na produção dos blocos BC, BCR25, BCR50 e BCR100 67

Tabela 9. Comparação da massa especifica dessa pesquisa com de outros pesquisadores 68

Tabela 10. Resultados de absorção de água no agregado graúdo natural e no reciclado 69

Tabela 11. Índices de absorção de água dos RCD 70

Tabela 12. Resultados dimensionais, blocos BC 71

Tabela 13. Resultados dimensionais, blocos BCR25 72

Tabela 14. Resultados dimensionais, blocos BCR 50 72

Tabela 15. Resultados dimensionais, blocos BCR 100 73

Tabela 16. Área líquida, valores médios BC, BC25, BC50 e BC100 74

Tabela 17. Valores médios massa específica superfície seca e saturada 74

Tabela 18. Valores área bruta – BC 75

Tabela 19. Valores área bruta – BCR 25 75

Tabela 20. Valores área bruta – BCR 50 76

Tabela 21. Valores área bruta – BCR 100 76

Tabela 22. Estudo realizados referente ao índice de absorção de água na produção do BCR 77

Tabela 23. Resultados ensaios valores médios de absorção de água blocos BC, BCR25, BCR50 e BCR100 79

Tabela 24. Resultados do fbk, est. das amostras BC, BCR25, BCR50 e BCR100 84

Tabela 25. Custos dos insumos naturais, RCD e Fôrma para a produção de 36 blocos 89

Tabela 26. Preço do bloco de concreto convencional dimensão: 9 cm X 19 cm X 39 cm praticado mercado PE , pesquisa realizada em 11/09/2021 89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Estudos referente ao uso do RCD na fabricação de BCR 20

Quadro 2. Classificação dos RCD 25

Quadro 3. Normas Técnicas aplicadas aos RCD 27

Quadro 4. Estudos percentual uso do RCD na fabricação de blocos reciclados 33

Quadro 5. Resultados obtidos na incorporação de RCD na fabricação de blocos de concreto 36

Quadro 6. Ensaios de caracterização dos agregados, Normas Técnica, ABNT 47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil Demolição
ABREPEL	Associação Brasileira de Limpeza Urbana
AR	Agregado Reciclado
AN	Agregado Natural
ARC	Agregado reciclado de concreto
BCR	Bloco de Concreto Reciclado
BR	Bloco de referência
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Fbk	Resistência característica de projeto para o bloco de concreto
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
M.E.S	Massa específica seca
M.E.Sat.	Massa específica saturada
PEV	Pontos de Entrega Voluntária
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
ψ	Psi

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA 18
1.2 OBJETIVOS 21
1.2.1 Objetivo geral 21
1.2.2 Objetivos específicos 21
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 21

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 23
2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO 23
2.1.1 Legislação 24
2.1.1.1 Legislação nacional 24
2.1.1.2 Legislação estadual 25
2.1.1.3 Legislação municipal 26
2.1.1.4 Os RCD e as normas técnicas brasileiras 26
2.1.2 Impacto ambiental dos RCD 28
2.1.3 Reciclagem dos RCD 29
2.1.4 Uso dos RCD para fabricação de blocos de concreto reciclado 31
2.1.4.1 Influência do RCD nas propriedades do bloco de concreto 34
2.2 PRODUÇÃO DOS BLOCOS 37
2.2.1 Norma técnica para fabricação de blocos 37
2.2.2 Requisito dimensionais do bloco de concreto 38
2.2.3 Processo de moldagem dos blocos de concreto 39
2.2.4 Processo de cura 40

3 MATERIAIS E MÉTODOS 41
3.1 MATERIAIS 42
3.1.1 Aglomerante 42
3.1.2 Agregados miúdos 42
3.1.3 Agregado graúdo 42
3.1.4 Processo de coleta dos RCD para fabricação do bloco reciclado 43
3.1.5 Processo de trituração do RCD 44
3.2 MÉTODO 46
3.2.1 Gravimetria dos RCD coletados 46
3.2.2 Processo de quarteamento do RCD coletado 47
3.2.3 Caracterização dos materiais 47
3.2.3.1 Composição Granulometrica do Agregado Miúdo, Graúdo e Agregado Reciclado 48
3.2.3.2 Material pulverulento do agregado graúdo 48
3.2.3.3 Massa específica dos agregados, absorção de água dos agregados míduos, graúdos e reciclados 48
3.3 CONSISTÊNCIA DO CONCRETO PARA A MOLDAGEM DOS BLOCOS BCR 50
3.4 QUANTIDADES MÍNÍNAS DAS AMOSTRAS 51
3.5 FABRICAÇÃO DOS BLOCOS BC e BCR 52
3.6 PROCESSO DE MOLDAGEM DOS BLOCOS DE CONCRETO 53
3.7 PROCESSO DE CURA 55
3.8 CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DOS BLOCOS 57

3.8.1 Análise dimensional 57
3.8.2 Área líquida e bruta 58
3.8.3 **Absorção de água e resistência à compressão do BCR** 59
3.8.3.1 A absorção de água do corpo de prova 59
3.8.3.2 Ensaio de resistência à compressão 59
3.8.4 Análise de custo da produção dos blocos de concreto reciclado 60
3.8.5 Procedimento de cálculo do fbk das amostras 60
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 62
4.1 RESULTADO DO PROCESSO DE QUARTEAMENTO 62
4.2 RESULTADO DO PROCESSO DE GRAVIMETRIA 62
4.3 COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA DOS AGREGADOS MIÚDOS, GRAÚDO NATURAIS E DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO 63
4.4 MATERIAL PULVERULENTO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO 66
4.5 MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS 67
4.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS AGREGADOS MIÚDO, GRAÚDO E RECICLADO 69
4.7 ANÁLISE DIMENSIONA1 70
4.8 ÁREA LÍQUIDA E BRUTA 73
4.8.1 Área líquida 73
4.8.2 Área bruta 75
4.9 ABSORÇÃO DE ÁGUA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS BCR 77
4.10 RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO BC E BCR 81
4.10.1 Características de Ruptura das amostras do ensaio de resistência à compressão 88
4.11 RESULTADO DOS CUSTO DA PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO RECICLADO 88
5 CONCLUSÕES 91
5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES 91
5.2 SUGESTÕES 93

REFERÊNCIAS 94

APÊNDICE A - Caracterização granulométrica dos agregados 103
APÊNDICE B - Análise dimensional dos blocos de concreto 106
APÊNDICE C - Resultados individuais de área líquida dos blocos de concreto 118
APÊNDICE D - Resultados individuais de massa específica dos blocos de concreto 119
APÊNDICE E - Resultados individuais de absorção de água dos blocos de Concreto 121
APÊNDICE F - Resultados individuais de resistência à compressão dos blocos de concreto 122
APÊNDICE G - Cálculo do desvio-padrão das amostra 125
APÊNDICE H - Cálculo do custo individual de produção dos blocos 130

1 INTRODUÇÃO

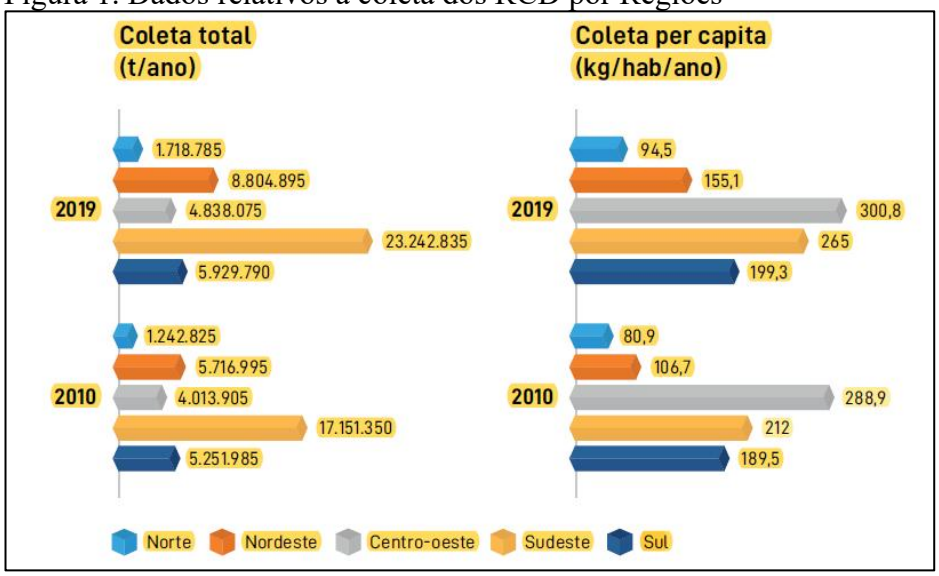
O reaproveitamento dos resíduos da construção civil tem sido um grande desafio para os gestores públicos e para a indústria da construção civil. A ação da reciclagem dos RCD está relacionada à conscientização da importância da reciclagem e da melhoria dos processos construtivos, dentre outras questões que serão abordadas nesse trabalho.

De acordo com Lima; Alves e Lima (2020), a presença dos RCD nos resíduos sólidos urbano, tem uma variação entre 51% a 70%, que quando mal gerenciado, degrada a qualidade de vida urbana, sobrecarrega os serviços de limpeza pública e reforça a ideia de desigualdade no país, uma vez que a verba direcionada a esse setor (transporte e disposição de resíduos) seria de responsabilidade do gerador.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Urbana (ABRELPE, 2020) em publicação intituilada, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2020), informa que os RCD coletados pelos municípios registraram aumento quantitativo no período analisado, passando de 33 milhões de toneladas, em 2010, para 44,5 milhões, em 2019. Com isso, a quantidade coletada per capita cresceu de 174,3 kg para 213,5 kg por habitante, por ano.

Já o relatório da Abrelpe (2021), não apresenta dados relativos à coleta dos RCD, apenas apresenta dados relativos aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) como pode ser visto na figura 1.

Figura 1. Dados relativos à coleta dos RCD por Regiões



Fonte: (ABRELPE, 2021).

No trabalho realizado por Vieira *et al.* (2020), envolvendo a análise da geração dos RCD nos canteiros de obra da cidade do Recife, constatou-se que a cidade do Recife, possui uma das piores taxas de mobilidade urbana, a deposição irregular de RCD pode ser vista ao longo de toda cidade, principalmente nos bairros com elevado adensamento urbano.

Segundo Klein e Gonçalves (2017), concluiu-se que os principais fatores relacionados ao descarte irregular nos logradouros e áreas públicas podem estar associados à variável renda, limitando os pequenos geradores de baixa renda a demandarem a locação de caçambas para o transporte desses resíduos, bem como à dificuldade da acessibilidade e custos logísticos até os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs).

Depreende-se que, se o gerador tiver dificuldades para transportar esses resíduos até um "ecoponto" mais próximo, a outra alternativa (ambientalmente correta) seria a contratação de transporte particular via locação de caçambas; nessa situação, a variável renda deve também ser considerada como indiretamente causadora da deposição irregular (KLEIN; GONÇALVES, 2017).

Bigolin (2013), explica que a cadeia da construção civil, consciente dos impactos gerados ao meio ambiente, busca alternativas mitigatórias, tanto em processos, quanto em insumos. Entre essas alternativas encontra-se a reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) dentro da própria cadeia produtiva.

No Brasil, esse tipo de reciclagem ainda é insipiente e pouco difundido. Um dos fatores que pode ocasionar este cenário está associado à falta de confiabilidade e a grande variabilidade dos agregados reciclados oriundos de RCD, o que reflete diretamente nas características finais dos produtos desenvolvidos a partir deste material reciclado (BIGOLIN, 2013).

Estudos realizados por Silva, Brito e Dhir (2014) constataram que embora a reciclagem seja frequentemente citada, como a melhor maneira de gerenciar os RCD, ainda existem vários obstáculos para o uso de agregados reciclados (AR) em construção, entre eles estão a falta de confiança de clientes e empreiteiros, incerteza quanto aos benefícios ambientais, falta de padrões e especificações que os produtores de concreto podem levar em consideração, baixa qualidade do produto final.

A gestão de resíduos da RCD é a melhor forma de economizar recursos naturais, trazendo benefício para a economia, a sociedade e o meio ambiente. Reduzir, reutilizar e a reciclar é considerada como as principais estratégias de gestão dos RCD (MOHAMMED, *et. al.* 2021).

Na pesquisa de Machado (2019), referente à Reutilização de resíduos de construção e demolição para a fabricação de blocos de alvenaria, obteve areia, brita, pederisco, através do beneficiamento do RCD, fazendo uso do processo de trituração.

No estudo realizado por Meng *et al.* (2018), explica que alguns outros subprodutos industriais, também podem ser usados na produção de blocos de concreto, como resíduos de sedimentos, efluentes lamas e resíduos de combustão. Esses resíduos, embora disponíveis em comum, só recentemente atraíram interesse de pesquisa para uso em blocos de concreto e, portanto, as investigações realizadas estão principalmente em estágios preliminares.

Todos esses trabalhos de pesquisa, envolvendo a reciclagem de RCD, demonstram possíveis possibilidades do seu reaproveitamento, diminuindo assim, o impacto no consumo dos materiais naturais, como também, contribuindo para incentivar a sociedade a investir nesse nicho de mercado.

A utilização de RCD como fonte de agregados demonstra-se cada vez mais viável em diversas cidades do Brasil, uma vez que grande parte não possui um sistema apropriado de coleta desses entulhos, ocorrendo descarte indevido e prejudicando diversos ecossistemas (LIMA; ALVES; LIMA, 2020). Esse trabalho busca comprovar o valor do RCD na fabricação de bloco de concreto reciclado, sem função estrutural, substituindo o agregado graúdo natural pelo RCD beneficiado. Será verificado qual o percentual de substituição do agregado natural interfere negativamente ou positivamente na relação entre à resistência compressão e índice de absorção. E por fim analisará o custo-benefício do uso dos RCD na fabricação de um produto reciclado.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

As questões ecológicas e ambientais têm sido discutidas em todos os âmbitos da sociedade, visto que as alterações no ambiente e a escassez de recursos naturais afetam a qualidade de vida de todos. Em decorrência disso, há uma grande preocupação quanto à necessidade da preservação ambiental, bem como com a criação de novos métodos para que a sociedade possa se desenvolver em equilíbrio com o meio ambiente (KRUGER *et al*., 2020).

Embora a utilização dos agregados reciclados seja bastante difundida para utilização em base e sub-base de pavimentos e em projetos de drenagem, há ainda muitas dúvidas a respeito do desempenho em argamassas produzidas com agregados de RCD e sua utilização ainda é limitada (KRUGER *et al*., 2020).

A gestão de resíduos da RCD é a melhor forma de economizar recursos naturais, trazendo benefício para a economia, a sociedade e o meio ambiente. Reduzir, reutilizar e a reciclagem é considerada como as principais estratégias de gestão dos RCD (MOHAMMED, *et. al.* 2021).

Segundo Silva; Brito; Dhir (2014), o desenvolvimento urbano infligiu graves danos ao meio ambiente e pode colocar em risco sua sustentabilidade. A exploração dos recursos naturais, em particular recursos não renováveis, para construção, ocasionará a geração de milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) todos os anos. Uma vez que a maioria dos países não tem plano de processamento para esses materiais, os mesmos são enviados para aterros, o que impossibilita a sua reutilização na indústria da construção civil.

O agregado de concreto reciclado (ACR) é obtido através do processo de trituração. Esse tipo de agregado não é homogêneo apresentando uma densidade mais baixa, maior absorção de água, devido a sua maior porosidade, provoca uma diminuição na resistência à compressão (AGN) (KUMAR, 2017).

Souza *et al*. (2022), explica que a utilização dos RCD como material prima na produção dos blocos de concreto tem sido uma alternativa sustentável para minimizar os impactos causados devido à sua deposição.

Kruger *et al.* (2020), explica que existe uma necessidade da construção civil em desenvolver estratégias sustentáveis e de destinação correta dos RCD, uma das alternativas para essa indústria é a reciclagem e reutilização de resíduos de construção e demolição (RCD). Estudos acerca da utilização deste material como agregado em argamassas e concretos vêm sendo desenvolvidos a fim de reduzir a quantidade de material descartado nos aterros, amenizando a emissão de CO_2; reduzir o consumo de energia gasto no transporte e mineração; e diminuir a necessidade de exploração de recursos naturais não renováveis.

Mohammed *et al.* (2021), salienta a importância da separação dos RCD na fonte, isso economiza dinheiro, bem como as fontes naturais, reduzindo as emissões de CO_2 e protegem o meio ambiente. No quadro 1, são listados alguns trabalhos de pesquisa relacionados ao tema desse trabalho.

Quadro 1. Estudos referente ao uso do RCD na fabricação de BCR

REFERÊNCIAS	TIPO	MATERIAL SUBSTITUÍDO
SOUZA *et al*., (2022)	Artigo	Agregado miúdo e graúdo
DELAFIORI, (2020)	Artigo	Agregado miúdo
KRUGER, *et al*., (2020)	Artigo	Agregado miúdo
GAYARRE, *et al*., (2017)	Artigo	Agregado miúdo e graúdo
LOPES (2017)	Artigo	Agregado miúdo e graúdo
BASTOS; CRUZ; WOELFFEL (2016)	Artigo	Agregado miúdo e graúdo
MESQUITA *et al*. (2015)	Artigo	Agregado miúdo
RODRIGUES (2015)	Dissertação	Agregado miúdo e graúdo

Fonte: (DO AUTOR, 2021).

Portanto, é essencial a criação de alternativas para a diminuição do acúmulo desses resíduos, destinando-os de forma correta e garantindo um melhor reaproveitamento, reduzindo, como resultado, os impactos ambientais negativos (SEABRA, CAMPOS, 2020).

O local escolhido para a realização da coleta de RCD foi no morro situado no bairro de Casa Amarela, e essa escolha se deu diante da dificuldade de descarte nessas área de difícil acesso, buscando uma solução para o problema de descarte desse tipo de resíduo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O emprego do RCD como substituto do agregado natural visa não só a viabilidade técnica da produção de blocos reciclados, mas sobretudo a importância da reciclagem como um processo extremamente válido para minimizar os impactos ambientais provocados pela retirada de insumos naturais e outros impactos causados no meio urbano pela disposição dos RCD nas vias urbanas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar tecnicamente, de acordo com ABNT, a influência do agregado graúdo reciclado na resistência à compressão e o índice de absorção de água do bloco de concreto reciclado.

- Verificar o Custo-benefício para utilização do agregado graúdo reciclado na fabricação do bloco de concreto reciclado.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No primeiro Capítulo dessa dissertação traz uma introdução acerca dos resíduos da construção civil gerados nas áreas urbanas e seus impactos negativos para o meio ambiente e as áreas urbanas, apresenta a justificativa da pesquisa, objetivos geral e específico e a metodologia adotada.

No segundo Capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica, abordando a questão da gestão dos RCD, legislação Nacional, Estadual e Municipal, impacto ambiental dos RCD, reciclagem dos RCD, a fabricação de blocos de concreto reciclado e as Normas Técnicas brasileiras pertinentes.

No terceiro Capítulo apresenta-se os materiais e o método utilizado nessa pesquisa, começando com a caracterização dos agregados, processo utilizado na produção dos blocos, o processo de coleta dos RCD, quarteamento das amostras, gravimentria dos RCD e trituração, o uso do agregado graúdo reciclado e o aglomerante utilizados no processo de produção dos blocos, análise da consistência do concreto para confeção dos blocos BCR, processo da moldagem e o processo de cura. No quarto Capítulo são apresentadas os resultados e

discussões, demonstrando os resultados obtidos nos ensaios dos blocos de referência e reciclado. No quinto Capítulo apresentam-se as conclusões e sugestões para estudos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico abordará o conceito de Resíduos de Construção e Demolição, questão da legislação nacional, estadual e municipal, normas técnicas, analise do impacto ambiental causado pela destinação incorreta dos RCD. Abordará a importância da gestão dos RCD, o uso como uma alternativa para a produção de bloco de concreto reciclado.

2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Na Norma Brasileira (NBR) nº 15.116 (ABNT, 2016), defini resíduos de construção civil como sendo resíduos 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, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. No Brasil a primeira regulamentação foi a Resolução N° 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2002).

Na Resolução do CONAMA Nº307 (2002), no seu artigo 2º inciso IV, define Agregado Reciclado como sendo um material granular proveniente do beneficiamento de residuos de construção que apresentem características técnicas para aplicação em obras de engenharia.

A resolução Nº 307 (CONAMA, 2002), estabeleceu as diretrizes na gestão dos resíduos de construção e demolição, tendo o objetivo de disciplinar ações, visando diminuir os impactos ambientais causaados pelo setor da construção civil.Esta Resolução considerou a implemetação da gestão dos RCD, ou seja, a criação de um Plano Municipal de Gestão de RCD que deve ser elaborado pelos Municipios e pelo Distrito Federal, em consonância com o Plano Municipal de Gestão de RCD.

2.1.1 Legislação

Neste item da pesquisa busca-se apresentar a legislação pertinente aos RCD, considerando a importância de se disciplinar a gestão dos Resíduos Sólidos, trazendo as definições e classificação dos RCD.

2.1.1.1 Legislação nacional

A Lei é a nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece diretrizes da gestão integrada e ao gerenciamento ambiental adequado dos resíduos sólidos. As principais diretrizes traçadas na PNRS, está na eliminação de áreas inadequadas de disposição final dos RCD, incentiva as atividades de reciclagem e reutilização do RCD em obras públicas e privadas, fomenta as medidas de redução na geração dos rejeitos e resíduos da construção civil. Esta lei está regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.

A Política Estadual de Resíduos Sólidos, tem como principal objetivo fazer com que os resíduos sejam menos nocivos, reduzindo o impacto causado em relação aos problemas ambientais, bem como na saúde pública. Essa Lei propõe a erradicação dos lixões e os aterros controlados.

A Resolução n° 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2002), no Art. 1º, estabelece as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Essa resolução determina as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais. No Art. 2º traz as definições relativas aos resíduos da construção civil, como sendo 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. Já no Art. 3º determina uma classificação para os resíduos da construção civil. No quadro 2 estão detalhadas as classes, os conceito e exemplos dos resíduos conforme a Resolução CONAMA nº 307 (2002).

Quadro 2. Classificação dos RCD

CLASSE DO RESÍDUO	CONCEITO	EXEMPLO
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis.	Componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), solos provenientes de terraplanagem, argamassa e concreto, provenientes de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, tais como: blocos, tubos, meio-fios.
Classe B	São os resíduos recicláveis	Plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso. (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação.(Redação dada pela Resolução n° 431/11)	-
Classe D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas.	Tintas, solventes, óleos, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução n° 348/04).

Fonte: CONAMA N° 307 (2002).

2.1.1.2 Legislação estadual

O estado de Pernambuco estabeleceu as Diretrizes Gerais referentes aos resíduos sólidos, através da publicação da Lei n° 14.236/2010, essa legislação dispõe sobre as diretrizes gerais aplicáveis aos resíduos sólidos no estado de Pernambuco, bem como os seus princípios, objetivos, instrumentos, gestão e gerenciamento, responsabilidades e instrumentos econômicos (PERNAMBUCO, 2010).

No artigo sexto, definiu que os 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, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, compensados, forros, argamassas, gesso, telhas,

pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fiação elétrica, denominados entulhos de obras, caliça ou metralha.

2.1.1.3 Legislação municipal

A Lei nº 17.072/2005 estabelece as Diretrizes e Critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Estabeleceu que os resíduos de construção civil são os resíduos provenientes das atividades de construções, reformas, reparos, demolições, escavações, terraplenagem e atividades correlatas (RECIFE, 2005).

Considerou que o gerador será a pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas responsáveis por atividades que gerem os resíduos de que trata esta lei. E que o pequeno gerador é o responsável pela atividade de construção, demolição, reforma, escavação e correlatas que gerem volumes de resíduos de até 1,0m^3/dia.

No parágrafo único, artigo quarto, definiu que o grande gerador é responsável também pela atividade de construção, demolição, reforma, escavação e correlatas, porém para volumes de resíduos superiores a 1,0m^3/dia, em cada uma das fases do empreendimento. Fica proibida a disposição de resíduos da construção civil, em qualquer volume, e resíduos provenientes de poda e jardinagem, em volume superior a 100 litros/dia, para a coleta domiciliar regular.

2.1.1.4 Os RCD e as normas técnicas brasileiras

No Brasil existem norma técnicas da ABNT balizam o uso do RCD, desta forma existem critérios que devem ser seguidos em relação a esse tipo de resíduos. No quadro 3, são apresentadas essas normas.

Quadro 3. Normas Técnicas aplicadas aos RCD

NBR 13321 (ABNT, 2017)	Transporte terrestre de resíduos
NBR 11174 (ABNT, 1990)	Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes
NBR 10004 (ABNT, 2004)	Resíduos sólidos – Classificação
NBR 10007 (ABNT, 2004)	Amostragem de resíduos sólidos
NBR 9935 (ABNT, 2011)	Agregados - Terminologia
NBR 15116 (ABNT, 2004)	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos
NBR 15114 (ABNT, 2004)	Resíduos sólidos da construção civil áreas de reciclagem – Diretrizes para projetos, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004d.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ANBT)

A NBR 13221 (ABNT, 2002) esta Norma estabelece os requisitos para o transporte terrestre de resíduos perigosos, conforme classificados na legislação, inclusive resíduos que possam ser reaproveitados, reciclados e/ou reprocessados, e os provenientes de acidentes.

Na NBR 11174 (ABNT, 1990), estabelece procedimentos relativos a armazenagem de resíduos classes II e não inertes, incluindo a classe II-inertes.

A NBR 10004 (ABNT, 2004a), estabelece critério de classificação dos resíduos sólidos. A referida norma técnica traz a classificação de resíduos sólidos, que envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Na norma técnica NBR 10007 (ABNT, 2004b) fixa os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos, estabelecendo as linhas básicas que devem ser observadas, antes de se retirar qualquer amostra, com o objetivo de definir o plano de amostragem (objetivo da amostragem, número e tipo de amostras, amostradores, local de amostragem, frascos e preservação da amostra).

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define os termos relativos a agregados empregados em concreto e argamassa de cimento Portland, trazendo termo e definições, tais como: natureza

do agregado de origem pétrea ou rocha, agregado natural e agregado artificial, agregado reciclado, etc.

Na NBR nº 15116 (ABNT, 2004c), especifica a utilização dos agregados reciclados em camadas de pavimentação e em preparo de concretos sem função estrutural. Os agregados reciclados de que são tratados por esta Norma destinam-se as obras de pavimentação viária: em camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas e no preparo de concreto sem função estrutural.

NBR nº 15114 (ABNT, 2004), nesta norma aborda-se a questão dos requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A.

2.1.2 Impacto ambiental dos RCD

Haverá um impacto negativo no meio ambiente se os RCD não forem removidos de forma eficiente e as indústrias da construção civil sofrerem pressão para adotar uma solução de destinação final eficaz dos mesmos, o que torna urgente a necessidade de um gerenciamento adequado desses resíduos. Infelizmente, esse processo de remoção dos RCD adiciona um custo extra de manutenção à despesa total de produção (RAY *et al*., 2021).

De acordo com Contreras *et al*. (2016), os RCD correspondem a 50% de todos os resíduos sólidos urbanos, geralmente são depositados em locais inadequados. Em geral, a quantidade e a composição de RCD variam entre as regiões e dependem de outros fatores específicos da região influenciando sua geração, tais como: população, atividade de construção, construção materiais, tradições (SÁEZ *et al*., 2020).

A grande quantidade de RCD, juntamente com a má gestão, criam encargos para o meio ambiente, a sociedade e a economia. (NEGASH *et at*., 2021).

A deposição em locais inadequados de RCD sem a utilização de técnica é um problema que traz consequências significativas para a sociedade propiciando a proliferação de pragas urbanas (baratas, ratos, etc). (SILVA; FERNANDES, 2012).

Para o pesquisador Martinez *et al*. (2016) a exploração massiva de recursos naturais na construção e o setor de construção tem sido um processo contínuo ao longo das vezes, causando degradação ambiental gradual.

2.1.3 Reciclagem dos RCD

Os resíduos sólidos têm sido um subproduto inevitável das operações das sociedades industrializadas. Um resultado do crescimento econômico é o aumento da geração de resíduos sólidos que normalmente eram despejados em locais inapropriados causavam a contaminação do solo, da água e do ar por substâncias tóxicas como bifenilos policlorados (PCB's), amianto, produtos químicos de construção, metais pesados. (TAM; SOOMRO; EVANGELISTA, 2018).

Segundo Campos (2014), a reciclagem ganhou mais atenção no Brasil, com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, aprovada em 2010. A reciclagem de materiais para produzir materiais úteis é assunto muito importante para a pesquisa científica em nosso mundo agora, porque a diminuição dos recursos naturais traz um dano para o futuro do mundo (HAMEED; HAMZA, 2019).

Dados apresentados por Zhang, *et al.* (2022), conclui que, com o processo de urbanização tão rápido, citando a China, que tem uma taxa de recuperação de RCD é inferior a 10% (HUANG *et al.* 2018). Como os EUA e União Européia são mais desenvolvidos e urbanizados, eles têm menos RCD gerados em comparação com a China, 600 ton. e 372 ton., respectivamente (excluindo solos escavados), Eurostat (Serviço de estatística da União Europeia, 2021).

Os dados pesquisados por Zhang *et al*. (2022), no ano de 2018, o a taxa de recuperação de RCD nos EUA é de cerca de 76%; é ainda maior na União Européia, cerca de 90% (Eurostat, 2021). Os pesquisadores Zhang *et al*. (2022), salientam que as políticas, leis, regulamentos e tecnologias para gestão de RCD na União Euroupéia são uma ótimas referências e lições para o setor de construção circular.

Segundo a ABRECON (2022), existem no Recife cerca de quatro usinas de reciclagem de RCD e onze ecopontos, distribuídos ao longo da Região Metropolitana de Recife, em Fortaleza existem duas usinas de reciclagem e 42 ecopontos, em Natal existem 2 usinas de reciclagem, Sergipe apenas uma usina. A própria ABRECON reconhece que o segmento da reciclagem de resíduos da construção e demolição no Brasil ainda é incipiente.

A capacidade de inserir o RCD na cadeia produtiva, não só melhorará o impacto ambiental, em termos de preservação de matérias-primas e paisagismo geológico, mas também aumentará a sustentabilidade econômica e social (SERINA; ENGELSEN, 2018). Explicam Serina e Engelsen (2018), que é fundamental um conhecimento técnico sólido de como o RCD pode ser recuperado e convertido em produtos úteis. De grande importância

entre a recuperação de RCD na construção civil é a produção de agregados reciclados (AR) e suas subsequentes aplicações.

Dissociar o crescimento econômico do uso de recursos naturais é fundamental para o desenvolvimento sustentável da indústria da construção. O uso de matérias-primas secundárias para o processamento e gerenciamento do RCD é um dos principais desafios para a transição para uma economia circular (CANTERO *et al*., 2019).

Em trabalho realizado por Caetano, Selbach e Gomes (2016), relativo a composição gravimétrica dos RCD para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais, demonstra que em obras residenciais horizontais de padrão construtivo do programa habitacional, Minha Casa Minha Vida, cerca de 92% dos resíduos de construção e demolição gerados na etapa de acabamentos são passíveis de reciclagem.

Contreras *et al.* (2016) explicam que há uma forte necessidade de diversificar as aplicações industriais dos RCD, esses resíduos foram avaliados e implementados com sucesso nos últimos anos em vários países, e geralmente, é usado como matérias-primas minerais em projetos de pavimentação, produção de concreto

Mymrin *et al*. (2015) desenvolveram um novo material de construção a partir dos RCD e resíduos da indústria de produção de cal, a cal foi usada como material aglutinante, o resultado obtido dessa mistura foi um novo material de construção, apresentando melhores propriedades mecânicas que as normas brasileiras estabelecem, tais como: a resistência uniaxial no 3º dia de 4,0 MPa, no 60º dia de 15,3 MPa.

Pela pesquisa de Santos e Leite, (2018), nos últimos anos, vários pesquisadores, em diversos países, têm desenvolvido estudos para contribuir com o aumento do conhecimento sobre o comportamento de concretos com agregados de RCD, Bairagi, Vidyadhara e Ravande (1990); Topçu e Günçan (1995); Leite (2001); Poon *et al*. (2004); Tam, Gao e Tam, (2005); Brito (2005); Rahman, Hamdam e Zaidi (2009); Pacheco-Torgal e Jalali (2010); Lovato *et al*. (2012); Matias *et al*. (2013); Leite e Monteiro (2016); Silva e Andrade, (2017); Delafiori (2020); Ahmad *et al.* (2021); Nasier (2021); Miraldo *et al*. (2021) e Robalo *et al*. (2021).

No trabalho realizado por Bigolin (2013), pesquisou-se artigos com o tema da reciclagem de resíduos junto a matrizes cimentícias, no total de 398 artigos relacionados com a reciclagem de resíduos, constatou-se que os RCDs foram os mais estudados, cerca de 98 artigos (26%).

Segundo análises realizadas por Zhang *et al.* (2022) o fato de um resíduo ser reciclado ou não está sujeito a vários fatores, como condições de fim de vida, a função dos

materiais, a comercialização de materiais secundários materiais e eficiência de um processo de tratamento.

Zhang *et al*. (2022) explica que para superar obstáculos para a reciclagem começa com a separação de RCD no local, ela é necessária para garantir garantir a qualidade dos resíduos; por outro lado, a relação custo-benefício de sistemas de reciclagem também devem ser considerados.

Segundo Salgado e Silva, (2022), embora os estudos sobre agregados reciclados sejam feitos há muitos anos, suas aplicações atuais são apenas em utilidades baixas, como paisagismo e pavimentos. Essa situação pode ser explicada pelo fornecimento inconsistente de materiais reciclados, padrões ou especificações limitadas, falta de evidências em serviço, incentivos financeiros e apoio governamental insuficientes e a percepção geral de que o concreto agregado reciclado é inferior ao concreto convencional.

2.1.4 Uso dos RCD para fabricação de blocos de concreto reciclados

A utilização de materiais residuais como uma substituição agregada em blocos de concreto tem os efeitos ambientais benéficos de reduzir resíduos sólidos existentes e redução do consumo de recursos naturais comumente usado como agregados (MENGA; LINGA; MO, 2018).

Os blocos de concreto reciclados para alvenaria se apresentam como uma alternativa para os blocos produzidos integralmente com matérias primas virgens. De acordo com a NBR 6136/2016 (ABNT, 2016), os blocos vazados de concreto simples são componentes para a execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta (OLIVEIRA; CALLEJAS; DURANTE, 2020).

No trabalho de Souza *et al*. (2022), na produção de blocos de concreto reciclado, substituiu 100% os agregados naturais miúdo e graúdo. O pesquisador afirma que a reutilização de RCD na produção dos blocos de concreto dentro de um processo produtivo de uma universidade mostrou-se grandioso, uma vez que alia as vertentes sustentável e econômica, reduzindo os custos com deposição de resíduos e propiciando o reuso como matéria-prima de um novo produto, de valor agregado.

Em um trabalho de dissertação, Lopes (2017) realizou uma pesquisa na produção dos blocos de concreto considerando quatro classes de resistência à compressão (3,0; 4,0; e 8,0 MPa) e cinco níveis de substituição, tanto do agregado miúdo reciclado (AMR), quanto do

agregado graúdo reciclado (AGR), (0%, 20%, 50%, 75%, 100%). Resultados alcançados pelas pesquisas citadas acima, encontram-se no quadro 4.

Diversos estudos abordaram a reutilização do RCD na forma de agregado reciclado na produção de blocos de concreto, substituindo parcialmente o uso dos agregados naturais. Nos estudos de Lintz *et al.* (2012), Lopes (2017) e Araújo *et al.* (2019) também foram observados esses comportamentos na resistência e absorção da água com a incorporação de RCD. No trabalho de Lintz *et al.* (2012) obtiveram resultados de resistência à compressão de 4,18 MPa, para uma substituição de 50% do agregado graúdo natural.

Na pesquisa de Lopes (2017), obteve resultado de resistência à compressão das suas amostras, com substituição, tanto do agregado miúdo e graúdo natural, 25%, 50%,75% e 100%, conseguindo valores, aos 7 dias de cura, respectivamente de 3,0 MPa, 2,5 MPa, 1,8 MPa e 1,5 MPa.

Outro estudo relacionado a obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos, realizados por Gomes *et al.* (2017), comprovou que a substituições dos agregados naturais pelos agregados reciclados de blocos, nas composições de concreto, mostraram-se satisfatórias do ponto de vista de resistência à compressão, considerando a norma brasileira em vigor na época do estudo.

Os estudos aqui listados têm buscado a substituição dos agregados naturais, tais com: a areia e a brita zero. No quadro 4, ilustra exemplos de diversos trabalhos realizados, percentuais de substituição e seus resultados.

Quadro 4. Estudos percentual uso do RCD na fabricação de blocos reciclados

Autores	Tipo	Percentual de substituição	Material substituído	Processo Fabricação	Resultados resistência à compressão e absorção de água
SOUZA *at al.* (2022)	Artigo	100%	Agregado miúdo e graúdo	Manunal x vibroprensa	A heterogeneidade dos RCD podem afetar diretamente as propriedades físicas, mecânicas e visuais das peças e que o processo de produção é um fator limitante para se obter um resultado positivo.
DELAFIORI, (2020)	Artigo	25%, 50%, 75% e 100%	Agregado miúdo	Vibroprensa	Satisfatória resistência à compressão e absorção.
GAYARRE, *et. al*., (2017)	Artigo	20% 35% 50% 70% 100%	Agregado miúdo e graúdo	Vibroprensa	Perda de resistência à compressão pequena para substituição acima de 30%.
GOMES *et.al*. (2017)	Artigo	57% 85% 100%	Agregados naturais de menores dimensões (pó de pedra e/ou areia natural).	Vibroprensa	As substituições dos agregados naturais pelos agregados reciclados nas composições de concreto mostraram-se satisfatórias, do ponto de vista de resistência à compressão.
RODRIGUES (2015)	Dissertação	30%50%100 %	Agregado miúdo e graúdo	Vibroprensa	Satisfatória resistência à compressão acréscimo RCD≤ 50%; Bloco BR100 não atendeu índice de absorção média de água, contudo, não invalidou os resultados.

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Trabalho realizado por Mesquita *et al.* (2015) concluíram que a utilização de agregados reciclados de RCD é uma alternativa viável para substituir brita convencional na produção de blocos vazados de vedação, contribuindo para minimizar o passivo ambiental, dando um destino adequado para os RCD e, principalmente, reduzindo a extração de agregados naturais.

Na pesquisa de Delafiori (2020) explica que para se obter bons resultados no tocante a resistênncia à compressão verificou-se que, para isto ocorrer com sucesso, a fábrica deve triturar seus resíduos em britador mandíbula com dimensão máxima de 4 mm e lavá-los antes da utilização para remoção do fíller, tornando-o um agregado da fração miúda, com maior regularidade e qualidade, como feito neste trabalho.

Artigo referente a “Blocos de concretos fabricados com incorporação de resíduos sólidos: “Uma Revisão Sistemática” de Oliveira, Callejas e Durante (2020), concluíram que a incorporação de resíduos permite o enquadramento da maioria dos blocos analisados às normas. No entanto, ressaltaram que deve-se fazer uma análise cuidadosa das propriedades e características dos resíduos utilizados, com vistas a verificar como estes podem afetar suas propriedades físicas e mecânicas.

2.1.4.1 Influência do RCD nas propriedades do bloco de concreto

Lopes (2017), avaliou a influência do agregado reciclado sobre propriedades dos blocos de concreto no estado fresco (consistência e massa específica) e no estado endurecido (aspecto superficial, resistência à compressão, absorção de água, teor de umidade e massa específica seca), observou que a forma e as características dos agregados reciclados interferem na absorção de água, consumo de cimento, dentro outros fatores que contribuem para a redução do desempenho do BCR.

Souza *et al.* (2022) concluiu na sua pesquisa que a heterogeneidade do RCD pode afetar diretamente as propriedades físicas, mecânicas e visuais das peças.

A forma das partículas exerce uma grande influência nas características do concreto, principalmente sobre a trabalhabilidade, compacidade, ângulo de atrito interno e quantidade da água de amassamento necessária à mistura. No caso de agregados reciclados há uma tendência a formas mais angulares, com taxas de superfície/volume maiores e textura geralmente mais rugosa e porosa que os agregados naturais (PRADO, 2006). Este fato, resulta em uma maior fricção interna entre os agregados, o que requer maior quantidade de argamassa para melhorar a trabalhabilidade do concreto produzido.

Segundo Silva e Melo (2022), explica que os fatores que influenciam na porosidade e durabilidade do concreto, quando se usa o RCD, estão ligadas a sua forma, granulometria, quantidade de finos, porcentagem de material cerâmico, porcentagem do agregado reciclado de concreto e dentre estes, a quantidade de argamassa aderia. Essa argamassa aderida nada mais é da parte de argamassa que durante o processo de trituração não se solta do agregado.

Neste contexto, é interessante salientar que o agregado reciclado, quando incorporado ao concreto, torna a mistura mais coesa e, consequentemente, com menor trabalhabilidade quando comparado ao concreto de mesmo traço com agregado natural (PRADO, 2006). Segundo estudo realizado por Poon, *et at*. (2009) indicaram que a densidade dos blocos diminuiu com um aumento do teor de RCD. Isso se deve ao fato de que os materiais reciclados finos agregados apresentaram densidades menores. Outro resultado obtido foi que a resistência à compressão dos blocos diminuiu com um aumento do teor de RCD.

Machado (2019), utilizou a areia já processada em (proporções) 25%, 50%, 75% e 100% em substituição a areia convencional para fabricação de blocos de concreto. Os resultados foram significativos mostrando que pode haver essa substituição e obter um custo - benefício positivo (MACHADO, 2019).

No trabalho realizado por Bigolin (2013), verificou-se que os agregados analisados apresentaram bom comportamento quando comparados às especificações da norma, indicando que o processo hoje estabelecido para tratamento e estoque dos RCD assegura a viabilidade do uso do mesmo na confecção dos blocos de concreto de vedação.

Na pesquisa realizada por Meng *et al*. (2018), expõe uma visão geral o conteúdo ideal de materiais residuais, suas respectivas características, bem como o efeito nas propriedades dos blocos de concreto. Esses resultados são apresentados no Quadro 5.

Importante salientar que o autor, Meng *et al.* 2018, analisou diversos materiais, tais como: resíduos de tijolo triturado, resíduo copo de refrigerante limão, resíduos cerâmica e azulejos, resíduos de lama de concreto, resíduos plásticos, Escória de alto forno granulada resíduos etc.

Quadro 5. Resultados obtidos na incorporação de RCD na fabricação de blocos de concreto

Materiais Residuais	**Características do conteúdo ideal**	**Características**	**Bloco de concreto estudado**	**Efeitos gerais em blocos de concreto propriedades**
Resíduos de Concreto reciclado	55-60% para agregado graúdo substituição e 20-25%	Força intrínseca relativamente baixa e densidade e alta porosidade e água absorção (devido à velha argamassa colada)	Bloco de alvenaria, concreto blocos ocos e blocos de pavimentação	- Diminuição da densidade; - Diminuição da resistência à compressão; - Aumento da absorção de água; - Durabilidade satisfatória, incluindo resistência ao congelamento e descongelamento; - Com tratamento / cura de CO2, melhoria na resistência à compressão e resistência à temperatura elevada; - Diminuição da porosidade e redução da secagem.
Resíduo de cerâmica e azulejo	Recomendação entre 30% e 50%	Alta resistência, superfície áspera, alta abrasão resistência, inércia química, fogo e resistência elétrica	Blocos para pavimentação	- Diminuição da densidade; - Diminuição absorção de água; - Aumento da resistência à compressão.

Fonte: (MENG *et al.*, 2018).

Conforme refletido na quadro 6, alguns dos resíduos, como concreto reciclado, tijolo triturado, cerâmica triturada, resíduos de plástico, entre outros, podem ser usados para substituição de alto volume (variando de 50 a 100%) de agregados naturais em blocos de concreto.

No estudo realizado por Meng *et al.* (2018), explica que alguns outros subprodutos industriais e materiais residuais, também tem sido usado na produção de blocos de concreto, como resíduos de sedimentos, efluentes lamas e resíduos de combustão. Esses resíduos, embora disponíveis em comum, só recentemente atraíram interesse de pesquisa para uso em blocos de concreto e, portanto, as investigações realizadas estão principalmente em estágios preliminares.

2.2 PRODUÇÃO DOS BLOCOS

Os primeiros blocos vazados de concreto surgiram no EUA e na Inglaterra, a partir de meados da década de 1880, quando unidades maciças se tornaram impopulares na construção civil, por conta do seu peso excessivo.

Tais blocos não eram fabricados com métodos industriais, mas sim moldados em fôrmas de madeira. Por volta de 1866, iniciaram os primeiros esforços para o desenvolvimento de técnicas de moldar blocos vazados. Antes do início do século XX, várias máquinas para fabricação de blocos foram desenvolvidas nos Estados Unidos da América. (DELAFIORI, 2020).

Delafiori (2020) explica que a partir de meados da década de 1910, o adensamento manual foi substituído por processos mecânicos, melhorando a densidade, resistência e uniformidade dos blocos.

Somente na década de 1940, foi introduzida a vibro prensagem no processo de fabricação, promovendo melhoria na aparência do bloco, assim como na resistência. Estas máquinas podiam fazer 5000 blocos por dia. A partir de então, houve melhorias progressivas em produtividade e qualidade de produto, resultado, inicialmente, da introdução de controles automáticos para regular altura e densidade do bloco, e depois da automatização dos demais equipamentos para controlar matérias-primas, pesagem e mistura (DELAFIORI, 2020).

2.2.1 Norma técnica para fabricação de blocos

A fabricação dos blocos de concreto deve seguir os requisitos determinados pela NBR 6136/2016 (ABNT, 2016), segundo a referida norma técnica, blocos vazados de concreto simples, são componentes para a execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado as faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.

Atualmente não se tem ainda uma norma técnica que determine requisitos para a fabricação de blocos de concreto reciclado de uso estrutural, no entanto, essa ausência de normalização técnica, não inviabiliza a fabricação de um bloco de concreto reciclado de uso não estrutural.O bloco de concreto, de uso não estrutural, deve atender aos requisitos determinados pela NBR 6136/2016 (ABNT, 2016) e está em conformidade com a NBR 12.118/2013 (ABNT, 2013).

2.2.2 Requisito dimensionais do bloco de concreto

As dimensões nominais, segundo a NBR nº 6136 (ABNT, 2016) dos blocos vazados de concreto devem corresponder às dimensões nominais inseridas na tabela 1. Esta tabela consta a família de blocos, ela indica as dimensões na seguinte ordem: Largura, Altura e Comprimento. Também determina o meio bloco, dois terços e um terço de bloco.

Tabela 1. Dimensões dos Blocos de Concreto

Medida nominal em mm		Família	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	7,5x40
		Largura	190	140			115			90	65
		Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração L	-	3340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração T	-	340	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	90	-
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	90
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-

Nota 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta tabela são de +- 2,0 mm para a largura e +- 3,0 mm para a altura e o comprimento.

Nota 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873

NOTA 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre o fornecedor e o comprador, em função do projeto.

Fonte: (NBR 6136 /ABNT, 2016)

Os blocos de concreto têm designação por classe, A, B e C, o bloco de concreto reciclado, do presente estudo, o presente estudo se enquaadra na Classe C, por se tratar de um bloco de concreto não estrutural, conforme tabela 2.

Tabela 2. Designação por Classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes

Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais[a] Mm	Paredes transversais	
			Paredes[a] mm	Espessura equivalente[b] Mm/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

[a] Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

[b] Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: (NBR 6136 /ABNT, 2016).

2.2.3 Processo de Moldagem dos Blocos de Concreto

O processo de modelagem dos blocos consiste na aplicação do concreto seco na forma do bloco, fazendo uso de um equipamento chamado vibro-prensa. Esta máquina funciona por uma ação combinada de pressão e vibração para alcançar um pré-moldado de alto desempenho (PETRILLO *et al*. 2016).

Segundo Delafiori (2020), a resistência dos blocos é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração, sendo a eficiência da vibração a responsável direta pela

qualidade final das unidades produzidas. Sendo assim, a qualidade do maquinário e a do processo produtivo, são fundamentais para o alcance da resistência e da qualidade desejada.

Souza *et al.* (2022), confirmou que a qualidade do maquinário e a tecnologia utilizada no processo produtivo dos blocos de concreto está diretamente relacionada aos resultados finais esperados, uma vez que a resistência dos blocos é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração.

2.2.4 Processo de cura

Segundo Hood (2006), o processo de cura consiste em um conjunto de operações que visa proporcional aos blocos e concreto, durante um certo tempo, condições de umidade, temperatura, necessárias a uma adequada hidratação do cimento.

Dentre os processos de cura existes, pode-se citar o da membra, que consiste na colocação de uma lona, para evitar a perda da umidade do bloco para o exterior, principalmente nos sete primeiros dia. Já na cura natural (ou a seco) consiste em deixar o concreto exposto, sem ter qualquer tipo de controle específico (RODRIGUES, 2015).

Em relação ao método de cura natural, Mehta e Monteiro (1994) explicam que os estudos já realizados fazendo uso desse tipo de cura, após o final de 180 dias, os concretos curados sobre condições de cura ao ar, apresentaram resistência média três vezes menor do que os produzidos através da cura úmida, provavelmente devido à microfissurações causadas pela evaporação da água do concreto logo nas primeiras idades, provocando retração por secagem devido a esse método de cura.

No tratamento fazendo uso da cura úmida, o concreto é submetido a uma aspersão de água, com o objetivo de manter a água necessária à hidratação do cimento, deixando a umidade constante, dentro da peça. Já a cura térmica, consiste em acelerar o processo de hidratação do cimento, o que ajuda a conferi uma maior resistência aos concretos curados dessa forma (RODRIGUES, 2015).

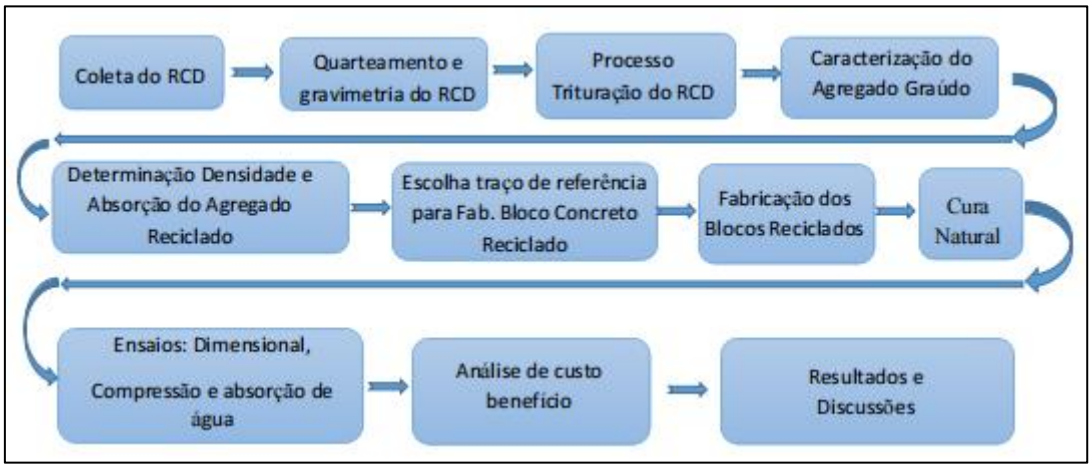
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho de pesquisa envolve a utilização de RCD classe A para a produção de um bloco de concreto reciclado. Após a coleta dos RCD, segue o processo de quarteamento que visa homogeneização das amostras coletadas. Vencida essa etapa, passa-se a análise gravimetria, com a identificação dos percentuais dos diferentes materiais encontrados na amostra dos RCD, tais como argamassa, concreto, bloco cerâmico e solo.

A etapa seguinte foi o processo de trituração dos RCD classe A, reduzindo o tamanho dos grãos para o correspondente ao agregado graúdo, no caso específico, 4,75 mm (NBR nº 7211 (ABNT, 2009). Na etapa seguinte, o agregado graúdo reciclado passa pelos ensaios de caracterização, tais como: curva granulometria, absorção de água, massa específica do agregado, material pulverulento e quantidade de finos na amostra.

Após a caracterização dos agregados, passa-se para o processo de produção dos blocos de concreto reciclado e sua cura natural. De posse dos blocos produzidos são realizados os ensaios dimensionais, absorção de água, determinação das áreas líquidas e brutas e o ensaio de resistência à compressão. Na figura 02, tem-se o fluxograma da metodologia.

Figura 02- Fluxograma da Metodologia



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

3.1 MATERIAIS

Nessa pesquisa foram utilizados um aglomerante, cimento Portland CP II Z -32, agregados naturais, areia grossa e brita zero, e o agregado graúdo reciclado em substituição ao agregado graúdo brita zero. Em seguida foi realizada a coleta dos RCD, foi executado o quarteamento das amostras de RCD e analisada a sua gravimetria. Após essa etapa, foi realizado o processo de trituração dos RCD para se reduzir ao tamanho correspondente a granulomtria da brita zero.

3.1.1 Aglomerante

O cimento Portland utilizado nesse trabalho experimental foi o CP II Z - 32. No mercado brasileiro, comercialmente tem-se a opção de diversos tipos de cimento, que possuem composições químicas diferentes de acordo com a presença ou não de adições. O cimento escolhido nessa pesquisa, é ideal para a produção de peças pré-moldadas, sendo esse o motivo de sua escolha.

As Normas Técnicas Brasileiras regem a especificação dos cimentos, tendo as seguintes normas técnicas: cimento Portland composto - especificação, NBR nº 16697 (ABNT, 2018): CP III 40 RS - cimento Portland de alto-forno e cimentos Portland resistentes a sulfatos, NBR nº 16697, CP IV 32 - cimento Portland pozolânico NBR nº 16697. O CP V ARI - cimento Portland de alta resistência inicial, NBR nº 16697 (ABNT, 2018).

3.1.2 Agregados miúdos

Chama-se de agregado, material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassas e concreto, NBR nº 9935 (ABNT, 2011). Segundo a NBR7211 (ABNT, 2019), agregado miúdo são grãos que passam pela peneira de malha 4,78 mm e ficam retidos na peneira de malha 0,075 mm.

3.1.3 Agregado graúdo

Segundo a NBR nº 9935 (ABNT, 2011), o agregado natural graúdo, trata-se de um material granular pétreo, que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem. E conforme a NBR nº 7211 (ABNT, 2009),

o agregado graúdo é o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Nesse trabalho de pesquisa foram utilizados o agregado graúdo natural do tipo brita zero, e em substituição ao agregado graúdo natural, foi utilizado o agregado graúdo o reciclado (proveniente do resíduo de construção e demolição - RCD) de mesmo diâmetro máximo do natural, para a fabricação do bloco de concreto reciclado.

3.1.4 Processo de coleta dos RCD para fabricação do bloco reciclado

Foram realizadas coletas dos RCD nas vias públicas nos bairros do Alto José do Pinho, Alto José Bonifácio, Nova Descoberta e Vasco da Gama, situados no morro da cidade do Recife, juntos possuem uma área territorial de 438 hectares e estão localizados na Região Político Administrativa III (RPA 3). A coleta foi realizada fazendo uso de sacos de ráfia com capacidade de 40 kg cada, conforme a Figura 3. Após a etapa de coleta foi realizado o quarteamento e a gravimetrias dos RCD.

Observou-se que em diversos pontos na região acima especificada, existe a disposição de RCD junto ao ponto de coleta do lixo urbano, essa disposição de resíduos de construção e demolição (RCD) tem sido um problema recorrente nas cidades brasileiras, em especial, em locais de difícil acessibilidade, como nos bairros situados em morros e que são considerados locais de vulnerabilidade. Desta forma, o intuito de coletar os RCD nessa região, visou demonstrar que mesmo em área de difícil acessibilidade, pode-se ter a possibilidade de coleta e reciclagem desse tipo de resíduo, que após um simples processo de trituração, é possível obter um agregado reciclado para a produção de um bloco de concreto reciclado.

Figura 3. Coleta de RCD morros Recife/PE

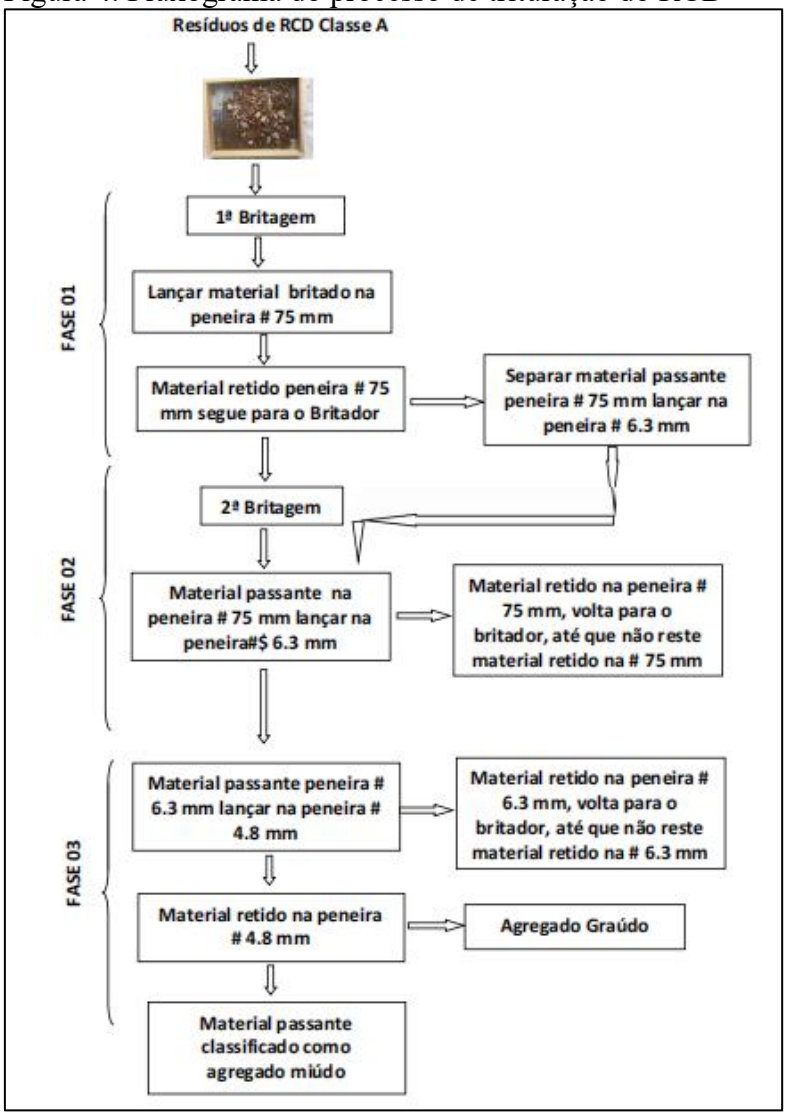
Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Após esse procedimento, foi obtido a amostra final, que foi pesada. Em seguida, considerando essa amostra como 100%, foi realizada a segregação manual dos RCD, conforme suas características, seguindo o que determina a Resolução nº 307 do CONAMA (2002), obtendo-se assim, o percentual de cada material.

3.1.5 Processo de Trituração do RCD

Após a etapa de quarteamento foi realizada a trituração do RCD, através de um triturador de madíbulas, essa etapa busca a diminuição do tamanho dos grãos, e seguiu o fluxograma ilustrado na figura 4.

Figura 4. Fluxograma do processo de trituração do RCD



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Segundo a NBR nº 7211 (ABNT, 2011), o agregado graúdo é o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

O RCD foi triturado no britador de mandíbulas, em seguida, o material foi posto na peneira malha 75 mm, o material passante, foi separado e o material retido, passou pelo britador novamente. Esse processo foi constituído de três fases, conforme ilustrado na figura 5.

Na primeira fase, o material retido na peneira de malha 75 mm, foi triturado e o material passante foi separado. Repetiu-se esse processo na fase dois. Na fase três, todo o material passante na peneira de malha 75 mm foi lançado na peneira de malha 6.3 mm, o material passante na peneira de malha 6.3 mm foi lançado na peneira de malha 4,75 mm.

O material retido na peneira de malha 6.3 mm foi triturado novamente, até que não restou material retido nessa malha. O material retido na peneira de malha 4.75 mm é considerado agregado graúdo e o material passante agregado miúdo, conforme preconiza a NBR nº 7211 (ABNT, 2009). Figura 5, amostra do material após o processo de trituração.

O objetivo de limitar o agregado graúdo entre as peneiras 6,3 e 4,75 mm , é garantir que o agregado estará com o diâmetro máximo equivalente ao da brita zero. Desta forma, faz-se necessário que o material retido nas peneiras de 6,3 mm, e acima, seja novamente triturado até ser passante na passante na 6,3 mm e ficar retido na 4,75 mm, o que equivale ao diâmetro máximo de uma brita tipo zero.

Figura 5. Resultado final processo de trituração

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

3.2 MÉTODO

Nesta etapa da pesquisa, busca-se realizar a caracterização dos materiais, tais como o ensaio da curva granulometria, massa específica, índice de absorção de água, porcentagem de material pulverulento. Esses ensaios visam não somente a caracterização dos materiais, mas a comparação dos resultados obtidos por outros pesquisadores.

3.2.1 Gravimetria dos RCD coletados

Nesta etapa foi analisando o material coletado, fazendo um peneiramento, com a separação visual de cada resíduo, em seguida a sua pesagem.

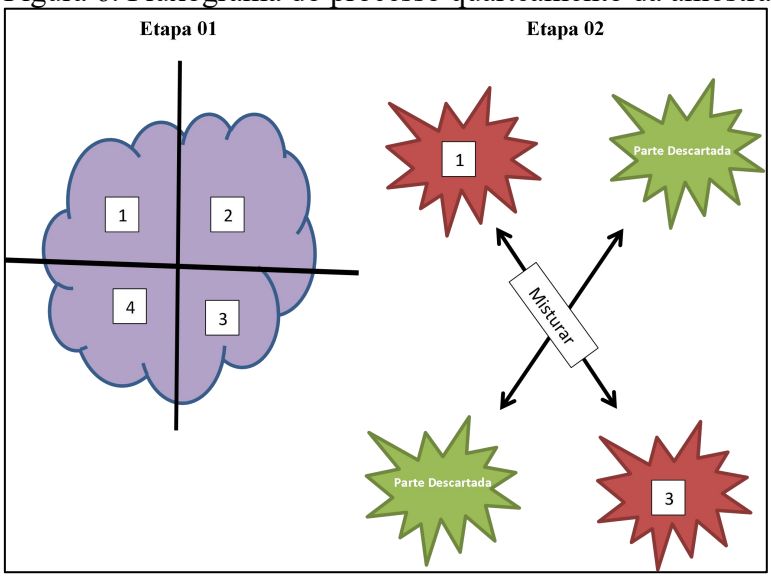
Para se obter o percentual de cada resíduo, aplicou-se o seguinte cálculo:

$$\text{Percentual da cada resíduos} = \frac{\boldsymbol{massa\ em\ (kg)\ de\ cada\ resíduo}}{\boldsymbol{massa\ total\ da\ amostra\ (kg)}} \text{ x } 100\%$$

3.2.2 Processo do Quarteamento do RCD coletado

Seguindo recomendações da NBR nº 16.915 (ABNT, 2021a), o material foi disposto sobre uma lona preta, onde o resíduo de RCD foi homogeneizado com uso de uma pá, formando uma pilha e desta pilha foram retiradas amostras (topo, meio e base), dispostas sobre uma lona (etapa 01). Iniciou-se o processo de quarteamento (etapa 02), dividindo-se em quatro partes, aproximadamente iguais. Em seguido, toma-se as duas partes opostas entre si e as demais serão descartadas. As partes que não descartadas foram novamente misturadas e o processo foi repetido. Na figura 6, tem-se o fluxograma do processo de quarteamentto.

Figura 6. Fluxograma do processo quarteamento da amostra



Fonte: (NBR nº 16.915 / ABNT, 2021).

3.2.3 Caracterização dos materiais

No quadro 6, são apresentados os ensaios necessários e as normas técnicas que foram seguidas para caracterização dos agregados utilizados nesta pesquisa.

Quadro 6. Ensaios de caracterização dos agregados, Normas Técnica, ABNT

ENSAIO	Norma Técnica
Amostragem	NBR 6915 (ABNT, 2021)
Curva Granulometrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água	NBR 16916 (ABNT, 2021)
Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água	NBR 16917 (ABNT, 2021)
Agregados para concreto - Especificação	NBR 7211 (ABNT, 2019)
Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem	NBR16973 (ABNT, 2021)

Fonte: (ABNT, 2022).

3.2.3.1 Composição Granulometrica do Agregado Miúdo, Graúdo e Agregado Reciclado

Para a determinação da composição granulometrica dos agregados utilizados nessa pesquisa adotou-se as recomendações da NBR NM nº 248 (ABNT, 2003). De acordo com a NBR nº 7211 (ABNT, 2009), o agregado miúdo agregado são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na em uma tabela 2 da NBR nº 7211 (ABNT, 2009).

O agregado miúdo utilizado nessa pesquisa foi a areia grossa e o agregado graúdo a brita zero.

3.2.3.2 Material pulverulento do agregado graúdo

Nessa pesquisa foi ensaiado os agregados e analisando o material pulverulento existente nas amostras conforme determinado na NBR7211(ABNT,2009). Segundo a NBR nº 7211 (ABNT, 2009) material pulverulento é um material fino, que passa na peneira de malha 0,75 μm (0,75 micrômetro), pelo processo de lavagem. Segundo Rodrigues (2015), para a produção de concreto, o teor de materiais pulverulentos presentes no agregado é um fator prejudicial, além de requerer mais água na mistura e, consequentemente mais cimento, colaborando para a redução da sua resistência à compressão e aumento do custo do material em função do uso excessivo de cimento.

3.2.3.3 Massa específica dos agregados, absorção de água dos agregados míduos, graúdos e reciclados

Esse ensaio visa determinar a densidade do agregado na condição seca e saturada. A massa específica dos agregados foi segundo as recomendações da NBR n° 16915 (ABNT, 2021a). A determinação absorção de água aumento da massa do agregado é devido ao preenchimento dos poros permeáveis com água. Agregado na condição saturada superfície seca correspondente ao estado físico em que os poros permeáveis estão preenchidos com água, sem que haja umidade superficial livre. O agregado na condição seca correspondente ao estado físico em que os poros permeáveis não estão preenchidos com água e não há umidade superficial livre. A densidade do agregado na condição seca é calculada através da seguinte equação:

$$\boldsymbol{\rho s} = \frac{\boldsymbol{mA}}{\boldsymbol{V - Va}}$$

Onde:

- $\boldsymbol{\rho s}$ = é a densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³).

- mA = é a massa da amostra seca em estufa a(105°+/-5°\), expressa em gramas (g).

- V = é o volume do frasco calibrado, em centímetros cúbicos (cm³).

- Va = é o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a seguinte expressão, expressa em centímetros cúbicos (cm³).

$$\text{Va} = \frac{\boldsymbol{MD - MC}}{\boldsymbol{\rho a}}$$

- mC é a massa do conjunto formado pela massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco (7.1), expressa em gramas (g);

- mD é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, mais a massa da água, expressa em gramas (g);

- $\boldsymbol{\rho a}$ é a densidade da água na temperatura do banho, expressa em gramas por centímetro cúbico /cm3).

Para calcular a densidade do agregado na condição saturada superfície seca, aplica-se a seguinte equação:

$$\boldsymbol{\rho \text{sss}} = \frac{\boldsymbol{MB}}{\boldsymbol{v - vA}}$$

Onde:

- ρsss é a densidade do agregado na condição saturada superfície seca, expressa em gramas cm3); por centímetro cúbico (g/cm³).

- mB é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g);

- V e Va foram determinados anteriormente.

Cálculo da absorção de água é realizado pela seguinte equação:

$$\text{Abs} = \frac{\boldsymbol{mB - mA}}{\boldsymbol{mA}}$$

Onde:

- Abs é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);

- mA é a massa da amostra seca em estufa a (105 ± 5) °C (ver 7.3), expressa em gramas (g);

- mB é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (ver 7.1), expressa em gramas (g).

3.3 CONSISTÊNCIA DO CONCRETO PARA A MOLDAGEM DOS BLOCOS BCR

A relação água/cimento adotado nessa pesquisa foi de 0,50. O procedimento para verificar a umidade ótica durante a preparação do concreto, foi o adotado por Rodrigues (2015), através da análise visual da textura do concreto produzido. Observar figura 7.

Figura 7 Verificação umidade ótima concreto seco

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Avaliação empírica das características do concreto seco, considera-se ideal a porção de concreto que após levemente precionada, apresente coesão entre as partículas, sem deixar resíduos na mão. (MARCHIONI, 2012). Na figura 8, temos análise umidade ótima traço concreto seco.

Figura 8. Análise umidade ótima concreto seco

Fonte: (SOUTSOS; TANG; MILLARD, 2011).

Segundo Akhtar e Sarmah (2018), o alto consumo de água por agregado reciclado, resulta em menor disponibilidade de água para hidratação da partícula de cimento no concreto e, portanto, na fase CSH(Silicato de Cálcio Hidratad**o**) que é responsável pela hidratação do cimento, pode acarretar perda de resistência à compressão.

3.4 QUANTIDADES MÍNIMAS DAS AMOSTRAS

Essa etapa visou estabelecer a quantidade de blocos de concreto (amostras) para a realização dos ensaios (dimensional, absorção de água, área líquida e resistência à compressão), conforme tabela 4, NBR nº 6136 (ABNT, 2016). Desta forma, e diante da necessidade de se ter um mínimo de amostras para os ensaios determinados nas normas técnicas pertinentes, será trabalhado com as quantidades indicadas na tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de blocos para realização dos ensaios

Quantidade de blocos do lote	Quantidade de blocos da amostra		Quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial		Quantidade de blocos para ensaios de absorção e área líquida
	Prova	Contraprova	Critério estabelecido em 6.5.1	Critério estabelecido em 6.5.2	
Até 5.000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5.000 a 10.000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
Acima de 10.000	9 ou 13	9 ou 13	10	6	3

Fonte: (NBR 6136 /ABNT, 2016).

O fato de se ter sete ou nove amostras, no caso específico do ensaio de resistência à compressão, depende do conhecimento do desvio-padrão. Quando não se tem conhecimento do desvio-padrão, usa-se seis amostras, que somadas as três amostras, para a realização dos ensaios de absorção e área líquida, teremos então, um total de 9 amostras, no mínimo.

Não se deve tomar para o fbk (resistência característica do bloco à compressão) um valor menor que ψ . fbk , adotando-se para ψ (psi) valores abaixo determinados pela NBR 6136 (ABNT, 2016). Na tabela 4, apresenta-se os valores de ψ em função da quantidade de blocos.

Tabela 4. Valores de ψ em função da quantidade de blocos

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	18
ψ	0,89	0,91	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte: (NBR 6136 /ABNT, 2016)

3.5 FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE REFERÊNCIA E RECICLADO

No presente estudo, para a fabricação dos blocos de referência e dos blocos reciclados, o traço utilizado foi em volume 1: 3:3 (1: cimento; 3: Areia grossa; 3: brita 0), (PRADO, 2006) e (GOMES *et al.* 2017). Métodos de formulação dos concretos secos utilizados na fabricação de blocos não são recentes, podendo ser citados os propostos por Wilk e Grant (1948), Pfeiffenberger (1985), Prudêncio Junior, Oliveira e Frasson Junior (2007) e Fernandes (2013), entre outros.

Foi utilizado quatro traços, (PRADO, 2006; GOMES *et al.* 2017) sendo um traço como referência, onde não haverá substituição dos agregados naturais, considerando 1:6 (cimento: areia grossa : brita 0), Os traços dois, três e quatro , ocorreu a substituição do agregado graúdo natural, pelo agregado graúdo reciclado, nas proporções de: 25% , 50% e 100%, conforme figura 9 e a indicação dos traços na tabela 5. Na figura 10, são apresentadas as amostras dos agregados naturais, areia grossa, brita zero e agregado reciclado.

Figura 9. Percentuais de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado: 25% 50% e 100%

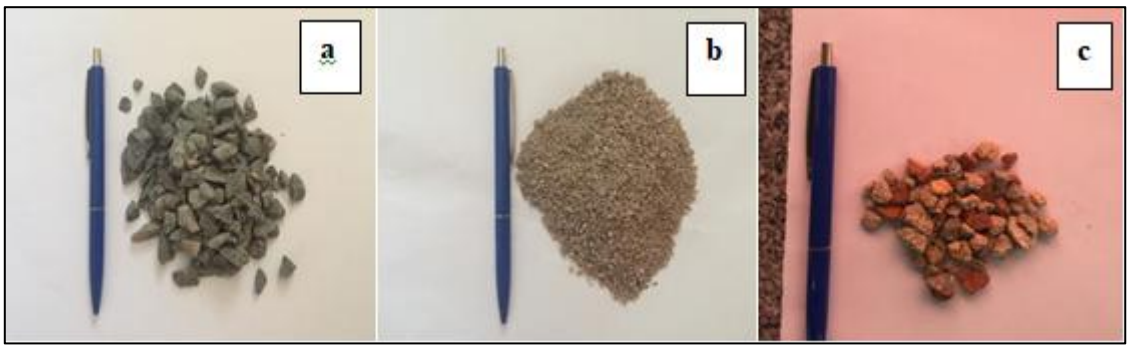
Fonte: (SOUTSOS; TANG; MILLARD, 2011).

Tabela 5. Formulação dos traços em volume

Traços	1	2	3	4
Cimento CP II Z - 32.	1	1	1	1
Areia grossa	3	3	3	3
Brita 0	3	2,25	1,50	0,0
Agregado Graúdo Reciclado	0	0,75	1,50	3,0
Relação Cimento/agregado	1:6	1:6	1:6	1:6
Relação a/c	0,50	0,50	0,50	0,50
Substituição do agregado graúdo natural	0 %	25 %	50 %	100%

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Figura 10. Agregados usados nessa pesquisa: a) Brita; b) Areia 0; c) Agregado graúdo reciclado



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

3.6 PROCESSO DE MOLDAGEM DOS BLOCOS DE CONCRETO

O processo de modelagem dos blocos consiste na aplicação do concreto seco na forma do bloco, fazendo uso de um equipamento chamado vibro-prensa. Esta máquina funciona por uma ação combinada de pressão e vibração para alcançar um pré-moldado de alto desempenho (PETRILLO *et al*. 2016).

Segundo Delafiori (2020), a resistência dos blocos é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração, sendo a eficiência da vibração a responsável direta pela qualidade final das unidades produzidas. Sendo assim, a qualidade do maquinário e a do processo produtivo, são fundamentais para o alcance da resistência e da qualidade desejada.

Souza *et al.* (2022), confirmou que a qualidade do maquinário e a tecnologia utilizada no processo produtivo dos blocos de concreto está diretamente relacionada aos resultados finais esperados, uma vez que a resistência dos blocos é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração.

O processo de moldagem dos blocos de concreto foi manual, uma vez que se pretende uma redução do custo de produção, uma vez que a vibro prensa tem um custo alto de aquisição e dificultaria a reprodução do processo em uma comunidade de baixa renda. Foi utilizado uma forma de madeira, com as seguintes dimensões: 90 mm x 190 mm x 390 m, observar figura 11.

Após a produção do traço na consistência ideal, o mesmo foi lançado em três camadas aproximadamente iguais, onde cada camada recebeu cerca de 20 golpes por camada, com uso de um martelo e um socador de madeira.

O adensado foi através de batidas laterais na forma, para em seguida, com o devido cuidado, realizar o processo de retirada da forma, obtendo-se assim o bloco. Essa operação se repetiu conforme a quantidade de amostras determinada pela NBR 6136 (ABNT, 2016) necessárias para a realização dos ensaios.

Figura 11. Forma de madeira 90 mm x 190 mm x 390 mm

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Segundo Rodrigues (2015), é importante salientar que a qualidade do bloco produzido é definida por sua compacidade e energia de compactação na hora da prensagem do bloco, além das características dos materiais utilizados.

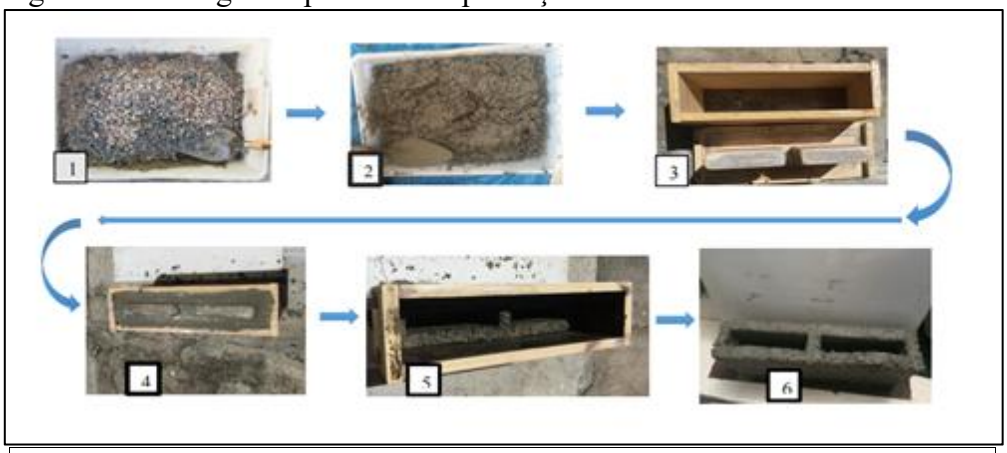
A melhor forma de garantir a compacidade do bloco é atentando para sua composição granulométrica. Em blocos cuja distribuição granulométrica é bem uniforme, há aumento da resistência à compressão, redução da absorção de água, além de evitar a retração por secagem e, consequentemente, fissuras (RODRIGUES, 2015).

No trabalho de Rodrigues (2015), os materiais pesados foram colocados em um recipiente de forma aleatória, segundo Buttler (2007), explica que a ordem de lançamento dos materiais no misturador, não tem muita interferência no concreto.

O processo de fabricação adotado por Paula (2010) foi manual, o pesquisador explica que após a preparação da mistura, houve o preenchimento das fôrmas e compactação manual ocorreu através de oito golpes de pá de base quadrada, por bloco, a uma altura média de 20 cm. Em seguida procedeu-se a vibração do primeiro lote de blocos, usando mesa vibratória no tempo de 1 minuto, ocorrendo em seguida a desmoldagem.

Em seguida foram aplicadas batidas nas laterais da fôrma, com uso de martelo de borracha, com intuito de facilitar a desforma, em seguida procedeu-se a desforma, conforme fluxograma da figura 12.

Figura 12. Fluxograma processo de produção bloco



1 - Mistura manual; 2 - Produção concreto seco; 3 - Forma; 4 - Preenchimento da forma com concreto seco; 5 - Desforma; 6 - Bloco concreto

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

3.7 PROCESSO DE CURA

Segundo Hood (2006), o processo de cura consiste em um conjunto de operações que visa proporcional aos blocos e concreto, durante um certo tempo, condições de umidade, temperatura, necessárias a uma adequada hidratação do cimento.

Dentre os processos de cura existes, pode-se citar o da membra, que consiste na colocação de uma lona, para evitar a perda da umidade do bloco para o exterior, principalmente nos sete primeiros dia. Já na cura natural (ou a seco) consiste em deixar o concreto exposto, sem ter qualquer tipo de controle específico (RODRIGUES, 2015).

Em relação ao método de cura natural, Mehta e Monteiro (1994) explicam que os estudos já realizados fazendo uso desse tipo de cura, após o final de 180 dias, os concretos curados sobre condições de cura ao ar, apresentaram resistência média três vezes menor do que os produzidos através da cura úmida, provavelmente devido à microfissurações causadas pela evaporação da água do concreto logo nas primeiras idades, provocando retração por secagem devido a esse método de cura.

No tratamento fazendo uso da cura úmida, o concreto é submetido a uma aspersão de água, com o objetivo de manter a água necessária à hidratação do cimento, deixando a umidade constante, dentro da peça. Já a cura térmica, consiste em acelerar o processo de hidratação do cimento, o que ajuda a conferi uma maior resistência aos concretos curados dessa forma (RODRIGUES, 2015).

O processo de cura do concreto é fundamental para a qualidade do bloco. Durante a cura, ocorre a hidratação do cimento, o que lhe conferirá resistência e evitará a falta de coesão entre as partículas. Existem diversos tipos de cura para concreto, e a escolha de um deles irá depender do tempo e espaço disponível, da necessidade do produtor e da qualidade do bloco (RODRIGUES, 2015).

Mehta e Monteiro (1994) apresentam estudos que afirmam que, ao final de 180 dias, concretos com determinada relação a/c curados sobre condições úmidas, apresentaram resistência média, três vezes maior que concretos curados ao ar, provavelmente devido à microfissurações causadas pela retração por secagem.

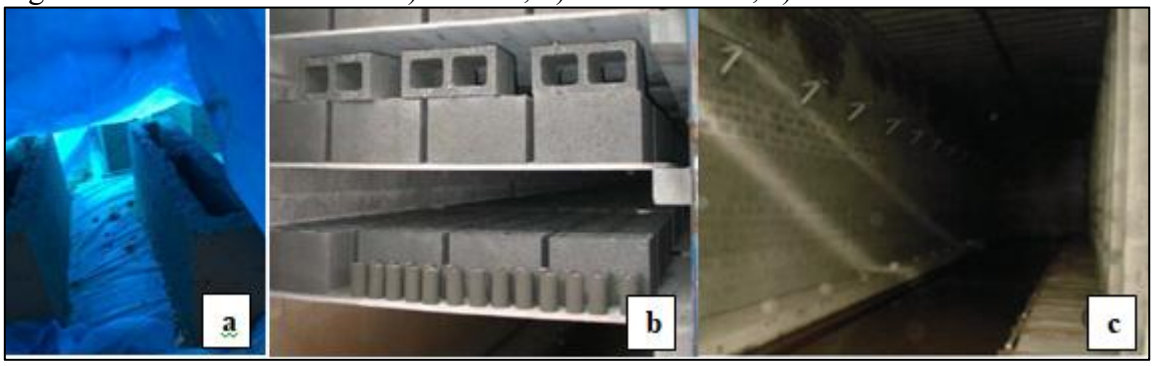
Na cura úmida o concreto é submetido a uma aspersão de água, com o objetivo de manter a água necessária à hidratação do cimento, deixando a umidade constante, no local da cura. Já a cura térmica, consiste em acelerar o processo de hidratação do cimento, o que ajuda a conferi uma maior resistência aos concretos curados dessa forma.

De acordo com a pesquisa de SHI *et al.* (2021), os resultados mostram que os regimes de cura a vapor afetam diretamente o desempenho de longo prazo do concreto curado dessa forma, alterando o campo interno de temperatura umidade.

No presente trabalho, a cura foi natural, nesse tipo de cura, deve-se tomar cuidado com a evaporação prematura da água, garantindo que os blocos produzidos não fiquem expostos ao vento e sol. A escolha pelo processo de cura adotado nesse pesquisa se deu por motivo de ordem financeira, uma que vez o processo de cura a vapor teria um custo mais alto dificultando sua aplicação em uma comunidade, como o caso da região onde foi realizada a coleta dos RCD classe A.

Nesse trabalho de pesquisa os blocos foram cobertos por uma lona, que protegeu os blocos durante os sete primeiros dias da cura, com uma umidade relativa do ar variando entre 78% (dia) e 70% (a noite). Na figura 13, temos processo cura com lona plástica e exemplos de outros processos de cura.

Figura 13. Processos de cura: a) Natural; b) Cura Térmica; c) Cura via câmara úmida



Fontes: (DO AUTOR, 2023; PRADO, 2006; RODRIGUES, 2015).

3.8 CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DOS BLOCOS

Nesta etapa teve início o procedimento para a realização da análise dimensiona das amostras, segundo a NBR nº 12118 (ABNT, 2013), com parâmetros determinados pela NBR n° 6136 (ABNT, 2016). Em seguida apresenta-se o cálculo da área liquida e bruta dos blocos produzidos nessa pesquisa, segundo os procedimentos determinados pela NBR n° 12.188 (ABNT, 2013).

3.8.1 Análise Dimensional

De acordo com a NBR nº 12.118 (ABNT, 2013) na análise dimensional devem ser realizadas pelo menos três medições em pontos distintos na face de maior espessura das paredes do bloco, as leituras devem ser expressas em milímetros (mm). Os valores de tolerância dimensional segundo a NBR nº 6.136 (ABNT, 2016) corresponde a 2,00 mm de tolerância para largura e 3,00 mm para comprimento e altura.

Para medição das espessuras mínimas das paredes deve-se obter duas determinações em cada parede longitudinal do bloco e uma determinação em cada parede transversal, tomadas na face de menor espessura da parede (face inferior de assentamento), com aproximação de 1 mm.

A espessura mínima das paredes deve ser a média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito, sendo separadas em longitudinal e transversal. A NBR nº 6136 (ABNT, 2016) determina que a espessura mínima das paredes, para blocos classe C, com largura nominal de 90 mm, não devem ser inferiores a 18 mm.

3.8.2 Área liquida e bruta

Conforme determina a NBR nº 12.118 (ABNT, 2013), a área bruta do bloco (amostra) é calculada usando o valor médio das dimensões totais da seção de trabalho do corpo de prova, sem descontar as áreas dos furos ou reentrâncias e será expressa em milímetros quadrados (mm²), calculada usando a seguinte equação:

Ab = b x l

Onde:

- Ab = área bruta
- b = é a largura real do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).
- l = é o comprimento real do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

Determinação da área líquida será calculada usando a seguinte equação:

$$\text{Aliq} = \frac{m2 - m3}{h \; x \; \gamma}$$

Onde:

- Aliq = área líquida da amostra, expressa em milpimetros quadrados (mm²).
- m_2 = é a massa do corpo de prova saturado, expresso em gramas (g).
- m_3 = é a massa aparente do corpo de prova, expresso em gramas (g).
- γ = é a massa específica da água utilizada no ensaio, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³).

O valor de m2 será através da imersão dos corpos de prova em água à temperatura (23 +- 5) ° C, durante 24 horas.

Os corpos de prova devem ser retirados da estufa, aguarda seu resfriamento naturalmente até atingir temperatura ambiente, drenados por 60 segundos, sobre uma tela metálica com abertura de malha igual ou maior que 9,5 mm, removendo-se a água superficial visível com um pano úmido, anotando a sua massa saturada m2.

Determinação da massa aparente:

O valor m_3 é determinado, após a saturação do corpo de prova, ou seja, o corpo de prova deve ser imerso em um tanque por 24 horas, deve o mesmo ser retirado do tanque e pesado em uma balança hidrostática.

3.8.3 Absorção de água e resistência à compressão do BCR

Neste item apresenta-se o procedimento de determinação da absorção de água e o ensaio de resistência à compressão das amostras, segundo determinado pela NBR nº 12.188 (ABNT, 2013). Os testes de absorção são realizados segundo a NBR 12.118 (ABNT, 2013), e seus resultados verificados na NBR nº 6.136 (ABNT, 2016), a qual considera que a média do índice de absorção deve $\leq$ 10% para blocos da Classe C.

3.7.3.1 A absorção de água do corpo de prova

O cálculo do índice de absorção de água das amostras é a relação entre a massa de agua contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa até constância de massa, e é expresso em porcentagem.

Será através da seguinte equação:

$$a = \frac{m2 - m1}{m1} x100$$

Onde:

- a = absorção de água, expressa em em porcentagem (%).
- m1 = é a massa do corpo de prova seco em estufa, expresso em gramas (g).
- m2 = é a massa do corpo de prova saturado, expresso em gramas (g).

Para a realização do ensaio de resistência à compressão os corpos de prova devem passar por uma regularização de suas superfícies, fazendo uso de pasta de cimento, o referido capeamento deve apresenta-se plano e uniforme no momento do ensaio. A absorção para o bloco fabricado com agregado normal, bloco classe C, individualmentte deve ser menor igual a 11,0 % e na média menor igual a 10,0% . Para o agregado leve, individualmente deve ser menor igual a 16,0 % e na média menor igua a 13,0 %, segundo a NBR6136 (ABNT, 2016).

3.7.3.2 Ensaio de resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão os corpos de prova devem ter sua face de trabalho retificadas com pasta ou argamassa, nesse presente trabalho de pesquisa, os corpos de prova foram retificados com uso de pasta de cimento, a espessura média do capeamento não deve exceder a 3 mm. Após essa etapa, deve-se calcular a área bruta do corpo de prova, considerando o valor médio das dimensões totais da seção de trabalho do corpo de prova, sem descontar as áreas de furos ou reentrâncias.

Durante o processo de carregamento sobre o corpo de prova (velocidade de incremento), progressivo e sem choques, a prensa deve ser programada de forma que a tensão aplicada, calculada em relação à área bruta, tem a seguinte razão:

0,15 ± 0,03 MPa/s, o que corresponde a 15 ± 3 N/cm².s ou 1,5 ± 0,3 kgf/cm².s para blocos de concreto com resistência superior a 8,0 MPa.

Para blocos de concreto com resistência à compressão inferior a 8,0 MPa, esses valores devem ser de 0,05 +- 0,01 MPa/s, o que corresponde a 5 +- 1,0 N/cm².s ou 0,5 +- 0,1Kgf/cm².s

A resistência mínima para o bloco classe C , não estrutural, deve ser maior igual a 3,0 MPa, segundo a NBR nº 6136 (ABNT, 2016).

3.8.4 Análise de custo da produção dos blocos de concreto reciclado

O custo dos blocos reciclados foi determinado a partir dos custos de compra dos insumos, tais como: areia grossa, brita zero e cimento. Também faz parte dessa composição de custos a fabricação da forma de madeira.

Realizado o levantamento de custos desses insumos, foi realizada uma pesquisa de mercado, referente ao valor da unidade de um bloco de concreto, não estrutural, Classe C, dimensão de 9 cm x 19 cm x 39 cm. Montando a tabela de custos, foi determinado o valor da produção dos 36 blocos de concreto. Foi analisado também o custo do bloco de concreto na tabela do SINPI/PE. Nessa análise não foi considerado o valor da mão de obra.

3.8.5 Procedimento para o cálculo do Fbk das amostras

Conforme determina a NBR nº 6.136 (ABNT, 2016), para o cálculo do fbk est (resistência característica estimada), caso não se tenha o valor do desvio-padrão, deve-se considerar a seguinte equação:

$$\text{fbk,est} = 2.\ \boldsymbol{x} = \frac{(\boldsymbol{fb}(1) + \boldsymbol{fb}(2) + \ldots . \boldsymbol{fbm} - 1)}{2{,}00} \text{-fbm}$$

Onde:

- fbk,est = é a resistência característica da amostra, expressa em megapascals.

- $fb_{(1)}$, $fb_{(2)}$,....., fb(i) = são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente.

- n = igual a quantidade de blocos da amostra.

Não se deve tomar fbk,est menor que $\psi.fb_{(1)}$, adotando-se para ψ os valores em função da quantidade de amostras. No caso específico são seis amostras e o valor de ψ será igual a 0,89.

Quando se tem o conhecimento do desvio-padrão adota-se a seguinte equação:

fbk,est = fbm - 1,65 x Sd

Onde:

- Fbk, est = é a resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascals.

- Fbm = é a resistência média das amostras, expressa em megapascals.

- Sd = desvio-padrão das amostras do fabricante.

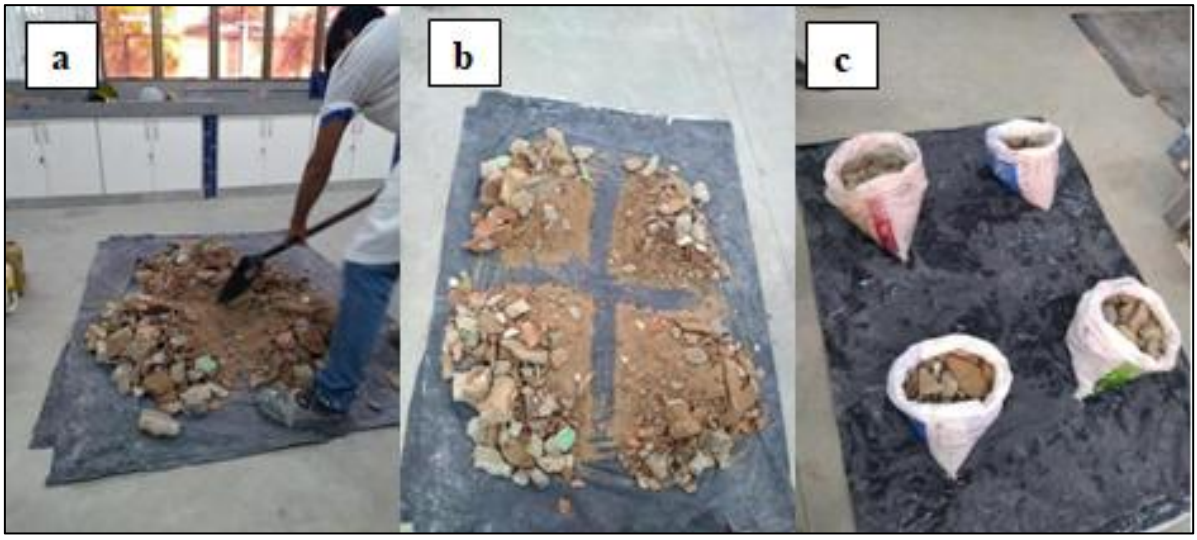
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa da pesquisa visa caracteriza os agregados utilizados, tais como: areia grossa, brita zero e o agregado reciclado. Os resultados obtidos são comparados com o estudo de outros pesquisadores, analisando o comportamento de cada material e sua influência na produção do bloco de concreto reciclado.

4.1 RESULTADO DO PROCESSO DE QUARTEAMENTO

No processo de quarteamento obteve-se a quantidade de 83,40 kg para análise gravimetrica.

Figura 14 Processo de quarteamento: a) mistura; b) divisão partes iguais; c) mistura partes e ensacamento



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

4.2 RESULTADOS DA GRAVIMETRIA

Nesse trabalho de pesquisa o material de RCD (Classe A, CONAMA Nº 307, 2002), apresentou a seguinte gravimetria: placas cerâmicas 1,26%, tijolos 9,43 %, concreto 38,25 %, argamassa 34,70%, finos 16,38 %, demonstrado na na figura 15 e na tabela 6 encontra-se os percentuais obtidos de cada tipo de material.

Figura 15. Resultado da gravimetria: a) Argamassa e concreto;b) placa cerâmica e tijolo c) solo

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 6. Gravimetria dos RCD Coletados

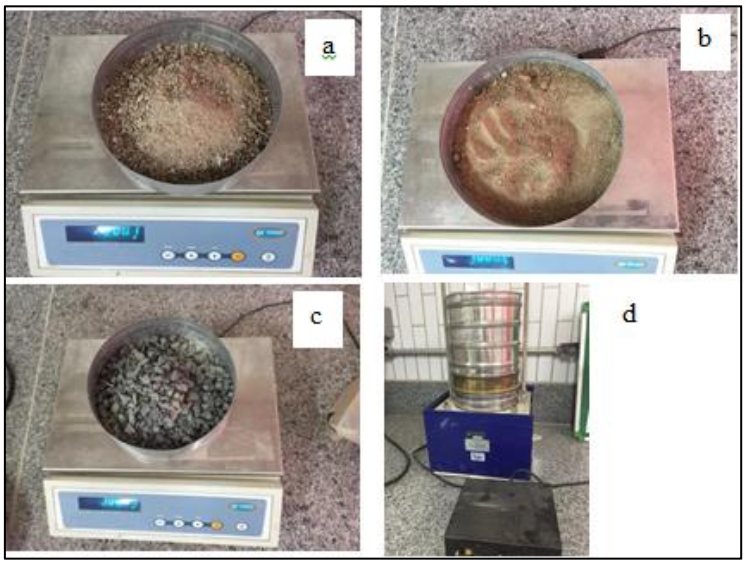
Material	Kg	%
Placas cerâmicas	1,054	1,26 %
Tijolos	7,865	9,43 %
Argamassa	28,943	34,70 %
Concreto	31,88	38,23 %
Solo	13,661	16,38%
TOTAL	**83,40**	**100%**

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

4.3 COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA DOS AGREGADOS MIÚDOS, GRAÚDO NATURAIS E DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO

Os ensaios para os agregados naturais e RCD, seguiram a determinação da NBR 248 (ANBT, 2003). Os resultados encontrados nessa pesquisa em relação a composição granulométrica encontram-se no Apêndice A. Demonstrou-se que a curva granulometrica encontra-se na faixa de composição equivalente ao agregado graúdo brita zero, zona superior utilizável,conforme determinações da NBR7211 (ABNT, 2009). Na figura 16, tem-se a realização da pesagem dos agregados e o agitador de peneiras laboratório SENAI LETMAC.

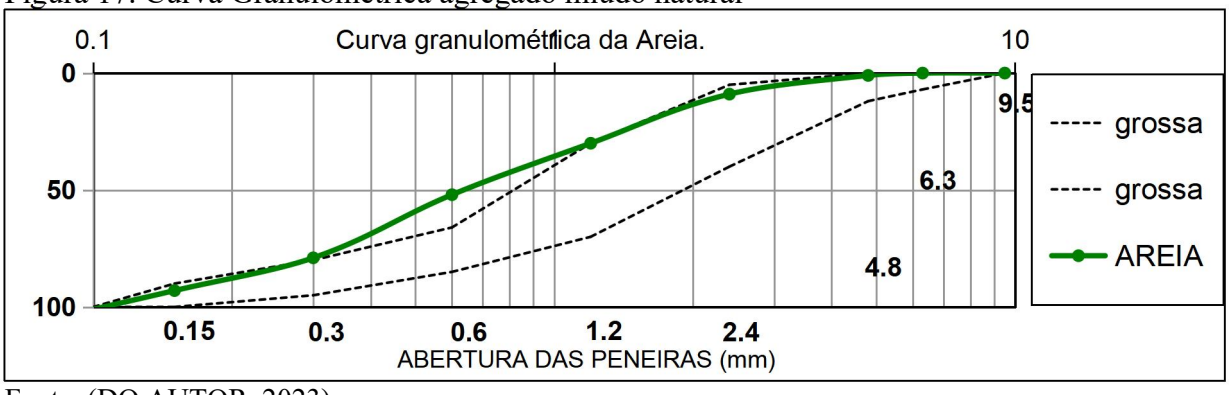
Figura 16. (a) pesagem areia , (b) brita zero , (c) agregado reciclado e (d) mesa vibratória para peneira ensaio granulometria



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

O módulo de finura determina se a amostra está classificada como agregado míudo ou graúdo, como aponta os percentuais de distribuição dos grãos dentro de um determinada faixa. O módulo de finura da areia grossa utilizada nessa pesquisa foi de 2,64, o indicou que o agregado em questão encontra-se na zona ótima, segundo a NBR nº 7211 (ABNT, 2009). O gráfico da curva granulometrica dos agregados utilizados, areia grossa, brita zero e agregado reciclado, encontram-se nas figuras 17, 18 e 19. No trabalho de Maio *et al.* (2022), encontrou módulo de finura do agregado miúdo areia grossa foi de 2,32, já no trabalho de Oliveira e Farias (2022), encontram um módulo de finura do agregado natural areia de 3,14.

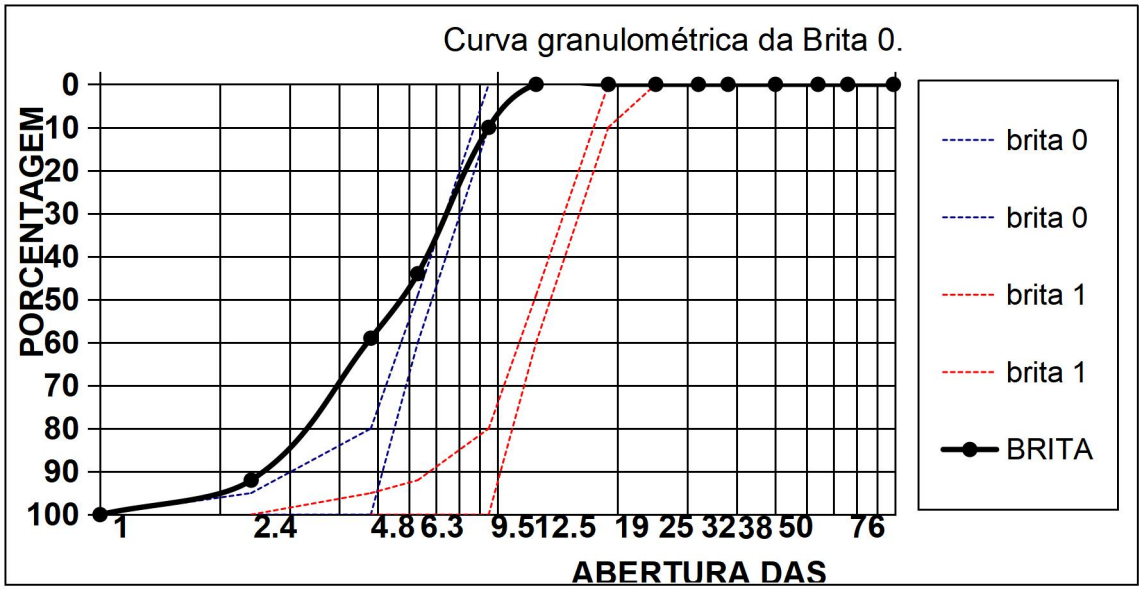
Figura 17. Curva Granulometrica agregado miúdo natural



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Na figura 18, observa-se o comportamento da curva granulometria do agregado graúdo brita zero. Na presente pesquisa o módulo de fina da brita zero foi de 6,33, esse valor está dentro dos parâmetros para um agregado graúdo brita zero. No trabalho de Oliveira e Farias (2022), encontram um módulo de finura para a brita zero de 5,89.

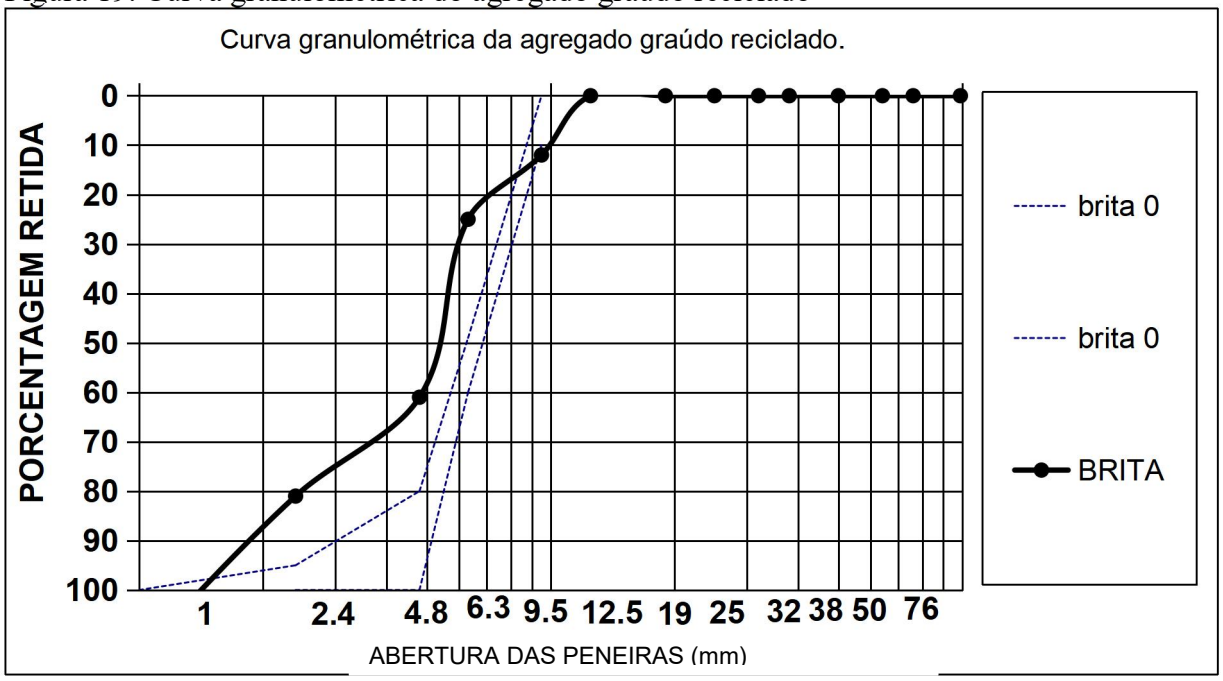
Figura 18. Curva granulométrica do agregado graúdo natural brita zero



Fonte: (DO AUTOR, 2023

Em relação ao agregado graúdo reciclado, o módulo de finura foi de 5,56. No trabalho de Delafiore (2020), encontrou um módulo de finura de 3,99 para agregado graúdo reciclado. Seara e Campos, (2020), obteve em seu trabalho de pesquisa, para o agregado graúdo reciclado, o módulo de finura igual a 5,72. Na figura 19 encontram a curva granulometrica do agregado graúdo reciclado.

Figura 19. Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

4.4 MATERIAL PULVERULENTO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO

Na tabela 7, apresenta-se o teor de material pulverulento agregado graúdo natural, brita zero e agregado graúdo reciclado, ensaio segundo a NBR 16.973 (ABNT, 2021b).

Tabela 7. Material Pulverulento agregados graúdos natural e reciclado

Agregado	Material Pulverulento (%)	Limite máximo aceitável NBR 7211(ABNT, 2019)	Limite para NBR 115.116 (ABNT, 2004)
Brita 0	5,00 %	1,00	≤ 10,00
Agregado graúdo reciclado	3,30 %		

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

O teor de material pulverulento do agregado graúdo reciclado desse trabalho de pesquisa foi de 3,30%, no trabalho de Mesquita *et al.* (2015), encontrou um percentual de 5,6 % material pulverulento. No trabalho de Campos *et al.* (2018), onde os autores analisaram a influência dos RCD nas propriedades reológicas e mecânicas do concreto autoadensável, obteve um percentual de material pulverulento de 1,42 %, para o agregado graúdo reciclado.

O excesso de materiais pulverulentos exige a adição de uma quantidade maior de água para a hidratação do cimento, o que aumenta a quantidade de vazios no concreto e pode ocasionar uma redução da resistência mecânica e da durabilidade do concreto (LOPES, 2017).

Segundo Kruger *et al*. (2020), a partir do teor de 30% de material pulverulento adicionado irá ocorrer uma redução na massa unitária, provavelmente porque os finos incorporados adicionais funcionaram como agregados primários preenchendo não somente os espaços entre os agregados, mas também o espaço ocupado por esses agregados.

Na literatura observar-se que os resíduos de concreto possuem teor de material pulverulento na faixa entre 4% e 15% e os resíduos mistos possuem teores mais elevados, na faixa entre 6% e 25% (KRUGER *et al*., 2020). O teor encontrado nesse trabalho está abaixo dos 6% para o RCD, e considerado dentro da faixa de material pulverulento encontrado pelos pesquisadores citados anteriormente. O limite determinado pela NBR 7211 (ABNT, 2009) de 3,0 %, segundo esses pesquisadores as partículas finas, até o limite recomendado por norma técnica, auxiliam no preenchimento dos vazios da areia da argamassa, que facilita o envolvimento da areia pelo cimento. Por outro lado, se houver excesso de partículas finas, estas envolvem as partículas de cimento com prejuízo às propriedades do concreto.

4.5 MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS

Resultado do ensaio de massa específica aparente do agregado seco e massa específica do agregado superfície saturada, dos agregados utilizados na produção dos blocos, encontram-se na tabela 8.

Tabela 8. Massa específica dos agregados do agregado seco e saturado usados na produção dos blocos BC, BCR25, BCR50 e BCR100.

Agregados	**Massa específica aparente do agregado (g/cm³)**	**Massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm³)**
Areia grossa	2,32	2,34
Brita 0	2,45	2,48
Agregado Graúdo reciclado	1,72	1,97

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Os valores obtidos de massa específica aparente do agregado míúdo e graúdo não diferem de outros trabalhos já realizados, a exemplo da pesquisa de Rodrigues (2015) que utilizou areia fina, obtendo massa específica de 2,64 g/cm³, no presente trabalho, utilizamos areia grossa, obtendo massa específica de 2,34 g/cm³.

A massa específica aparente e saturado superfície seca do agregado graúdo RCD foram respectivamente 1,72 g/cm³ e 1,97 g/cm³. Na tabela 9, encontra-se a comparação da massa específica de outros pesquisadores.

Tabela 9. Comparação da massa especifica dessa pesquisa com de outros pesquisadores

Agregados	**Massa específica aparente do agregado (g/cm³)**	**Massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm³)**
Agregado Graúdo reciclado	1,72	1,97

Agregados Estudados	**Massa específica aparente do agregado (g/cm³)**	**Massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm³)**
RCD (SOUZA *et al.,* 2022)	1,10	2,29
RCD (MESQUITA, 2015)	1,99	2,30
RCD (RODRIGUES, 2015)	2,18	2,19
RCD (PAULA, 2010)	2,55	1,43

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Observa-se que os valor encontrado do agregado graúdo reciclado está na faixa de outras pesquisas, confirmando que a massa específica dos RCD tendem a apresentar massa específica inferiores aos agregados naturais, o que ficou confirmado em relação ao agregado graúdo natural brita zero, que apresentou uma massa especifica de 2,45, enquanto o agregado graúdo reciclado, apresentou o valor de 1,72.

4.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS AGREGADOS MIÚDOS, GRAÚDO E RECICLADO

Os ensaios seguiram as recomendações da NBR nº 248 (ABNT, 2003), determinação da densidade e da absorção de água NBR nº 16.916 (ABNT, 2021) e NBR nº 16.917 (ABNT, 2021).

Os resultados de absorção dos agregados naturais e do reciclado, encontram-se inseridos na tabela 10.

Tabela 10. Resultados de absorção de água no agregado graúdo natural e no reciclado

Agregados	Absorção de água
Areia	0,60
Brita 0	1,21
Agregado graúdo reciclado	10,18

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

A absorção de água do agregado miúdo e graúdo foram semelhantes aos obtidos por Rodrigues (2015) que foi de 0,61 areia e 1,31 brita 0. No trabalho de Gayarre *et al*. (2017), obteve 0,50 agregado miúdo. Já em relação ao agregado graúdo reciclado, o resultado dessa pesquisa foi de 10,18, o resultado encontrado por Rodrigues (2015), que foi de 8,01. Valor obtido no índice de absorção de água do agregado reciclado graúdo, por Mesquita *et al.* (2015), foi de 10,72.

Na pesquisa de Souza *et al*. (2022) que trabalhou com RCD, obteve 7,00 de absorção de água. No artigo de Kumar, (2017), analisou separadamente alguns resíduos de RCD, e constatou que resíduos de tijolos podem ter um índice de absorção de água de 14,70 e de agregado aderido com argamassa obteve 7,6. Martinez *et al.*(2016), obteve índice de absorção de água com resíduos RCD de 7,8. No trabalho de Ma *et al.* (2021) obteve 17,5 de absorção de água no RCD de tijolo triturado e 8,5 de resíduo de concreto triturado. Na tabela 11, apresentamos um comparativo de resultados de absorção de água versos resultados obtidos em outras pesquisas com o uso de RCD.

O resultado do índice de absorção de água do RCD dessa pesquisa confirma que devido a sua característica de heterogeneidade dos RCD, obtem-se valores acima de 7,0 % podendo chegar a 16%, dependendo da gravimentria da amostras, o que pode prejudicar a hidratação do cimento, uma vez que o RCD podem absorver parte da água necessária à hidratação do cimento, prejudicando assim, a resistência final do concreto.

Tabela 11. Índices de absorção de água dos RCD

Tipo de Resíduos	Percentual de absorção de água RCD	Referências
RCD	7,00	SOUZA *et al.* (2022)
RCD	8,01	RODRIGUES, (2015)
RCD	10,72	MESQUITA *et al*. (2015)

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

4.7 ANÁLISE DIMENSIONAL

Os valores dimensionais dos blocos produzidos nessa pesquisa, encontram-se no Apêndice A. A NBR nº 6.136 (ABNT, 2016), as dimensões nominais dos blocos vazados de concreto simples são: largura, altura e comprimento (b x h x l), sendo o bloco produzido nessa pesquisa apresenta as seguintes dimensões nominais: 90 mm x 190 mm x 390 mm. Já as dimensões reais são aquelas verificadas diretamente nos blocos fabricados NBR nº 6.136 (ABNT, 2016).

As tolerâncias permitidas pela NBR nº 6.136 (ABNT, 2016) são 2 mm para largura e 3 mm para altura e comprimento, salientando que as espessuras mínimas dos blocos do presente estudo devem ser para as paredes longitudinais 18 mm e transversais de 18 mm e parede equivalente de 135 mm/m Na Tabela 12, 13, 14 e 15 apresentam-se os resultados verificação dimensional do BC, BCR 25,BCR 50 e BCR 100.

De acordo com Rodrigues (2015), destaca que a verificação referente ao aspecto superficial do bloco é fundamental para garantir a integridade e uniformidade do bloco. A presença de falhas, trincas, vazios, ou até mesmo manchas que indiquem variação de materiais dentro de um mesmo bloco, pode comprometer a resistência do elemento e, consequentemente, a segurança do edifício construído com estes.

Na presente pesquisa as amostras apresentaram dimensões e não apresentaram trincas, estando dentro dos limites dimensionais determinados na NBR 6136 (ANBT,12016).

Tabela 12. Resultados dimensionais, blocos BC.

BC Dimensional (mm)						
				longitudinais	Paredes Transversais	
Amostras	Largura	Altura	Comprimento	Espessura mínima das paredes (mm)	Paredes (mm)	Espessura Equivalente (mm/m)
1	90,00	190,00	390,00	26,00	26,00	197,64
2	90,00	190,00	390,00	30,00	30,00	227,66
3	90,00	190,00	389,00	28,00	25,00	194,89
4	90,00	189,00	390,00	29,00	27,00	206,60
5	89,90	189,00	390,00	27,00	27,00	208,30
6	90,00	190,00	390,00	28,00	25,00	188,00
Desvio-padrão	0,4697	0,2131	0,1812	0,912	1,70	12,67
Variância	0,2206	0,0454	0,0328	0,831	2,888	160,72
Média	90,00	190,00	390,00	28,00	27,00	204,00

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 13. Resultados dimensionais, blocos BCR25

BCR25 Dimensional (mm)						
				longitudinais	Paredes Transversais	
Amostras	Largura	Altura	Comprimento	Espessura mínima das paredes (mm)	Paredes (mm)	Espessura Equivalente (mm/m)
1	90,00	190,00	390,00	26,00	26,00	197,64
2	90,00	190,00	390,00	30,00	30,00	227,66
3	90,00	190,00	389,00	28,00	25,00	194,89
4	89,00	189,00	390,00	29,00	27,00	206,60
5	89,90	189,00	390,00	27,00	27,00	208,,30
6	90,00	190,00	390,00	28,00	25,00	188,00
Desvio- padrão	0,4714	0,500	0,5773	1,078	0,8975	3,444
Variância	0,222	0,25	0,333	0,831	2,888	11,86
Média	90,00	190,00	390,00	28,00	25,00	193,00

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 14. Resultados dimensionais, blocos BCR 50

BCR50 Dimensional (mm)						
				longitudinais	Paredes Transversais	
Amostras	Largura	Altura	Comprimento	Espessura mínima das paredes (mm)	Paredes (mm)	Espessura Equivalente (mm/m)
1	90,00	188,00	390,00	29,00	25,00	194,69
2	90,00	190,00	389,00	28,00	28,00	207,54
3	90,00	188,00	389,00	29,00	25,00	188,67
4	89,00	190,00	390,00	26,00	25,00	195,43
5	89,00	190,00	390,00	27,00	25,00	189,69
6	90,00	190,00	390,00	25,00	25,00	191,37
Desvio- padrão	0,4714	0,9428	0,4214	1,344	1,12	6,296
Variância	0,222	0,888	0,222	1,805	1,25	39,639
Média	90,00	189,00	390,00	27,00	26,00	195,00

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 15. Resultados dimensionais, blocos BCR 100

BCR100 Dimensional (mm)						
				longitudinais	Paredes Transversais	
Amostras	Largura	Altura	Comprimento	Espessura mínima das paredes (mm)	Paredes (mm)	Espessura Equivalente (mm/m)
1	89,00	190,00	390,00	27,00	25,00	195,66
2	90,00	190,00	390,00	28,00	26,00	198,84
3	89,00	190,00	390,00	29,00	27,00	204,77
4	90,00	190,00	390,00	29,00	27,00	210,59
5	90,00	189,00	390,00	28,00	26,00	199,23
6	89,00	190,00	391,00	28,00	27,00	205,54
Desvio- padrão	0,500	0,573	0,372	0,687	0,745	5,011
Variância	0,250	0,329	0,139	0,472	0,555	25,115
Média	90,00	190,00	390,00	28,00	26,00	202,00

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

4.8 ÁREA LÍQUIDA E ÁREA BRUTA

Neste item são calculados a área líquida e bruta das amostras, segundo a NBR nº 12.188 (ABNR, 2013), considerando também os parâmetros da NBR nº 6.136 (ABNT, 2016).

4.8.1 Área líquida

Os valores das áreas líquidas, massa seca, massa saturada dos blocos produzidos nessa pesquisa, encontram-se no Apêndice B. Cálculos da densidade dos blocos encontram-se no Apêndice D.

Os valores médios das áreas líquidas estão listados na tabela 16, correspondentes aos resultados das amostras BC, BCR25, BCR 50 e BCR100.

Os valores densidade dos blocos produzidos nessa pesquisa, encontram-se no Apêndice D. Na tabela 17, são apresentados os resultados médios da massa específica seca e saturada das amostras, esse resultado confirma que com o aumento do percentual de RCD no

concreto, a massa específica tende a reduzir, em relação ao bloco de referência, quando também, percebe-se um aumento crescente de índice absorção de água, nas amostras BCR25, BCR50 e BCR100.

Tabela 16. Área líquida, valores médios BC, BC25, BC50 e BC100

Amostras	m²	M³	Altura	Área Líquida (mm²)
BC	9690	5369	190	22739,00
BCR25	9094	4789	190	22658,00
BCR50	8768	4527	190	22321,00
BCR100	8680	4360	190	22735,00

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 17. Valores médios massa específica superfície seca e saturada

Amostras	Densidade (Massa Específica seca) Kg/dm³	Densidade (Massa Específica saturada) Kg/dm³	Variância	Desvio-padrão
BC	2,10	2,24	0,0008	0,0288
BCR25	1,91	2,11	0,0006	0,0141
BCR50	1,85	2,07	0,0035	0,0341
BCR100	1,78	2,01	0,0038	0,0166

M.E.S = Massa específica seca

M.E.Sat. = Massa específica saturada

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

4.8.2 Área Bruta

A área bruta é expressa em milímetros ao quadrado (mm²). Os resultados das áreas brutas das amostras encontram-se nas tabelas 18 a 21.

Tabela 18. Valores área bruta - BC

BC				
AMOSTRAS	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	ÁREA BRUTA Ab (mm²)
1	90,00	190,00	390,00	35291,05
2	90,00	190,00	390,00	35883,89
3	90,00	190,00	389,00	35265,99
4	90,00	189,00	390,00	35385,09
5	89,90	189,00	390,00	34920,14
6	90,00	190,00	390,00	35138,70

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 19. Valores área bruta - BCR 25

BCR 25				
AMOSTRAS	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	ÁREA BRUTA Ab (mm²)
1	90,00	189,00	390,00	35125,00
2	90,00	190,00	390,00	35011,04
3	90,00	189,00	390,00	34981,04
4	89,00	190,00	391,00	34858,63
5	89,00	189,00	390,00	34932,92
6	90,00	190,00	389,00	35040,00

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 20. Valores área bruta - BCR 50

BCR 50				
AMOSTRAS	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	ÁREA BRUTA Ab (mm²)
1	90,00	188,00	390,00	35040,00
2	90,00	190,00	389,00	34910,22
3	90,00	188,00	389,00	35109,00
4	89,00	190,00	390,00	34701,10
5	89,00	190,00	390,00	34848,93
6	90,00	190,00	390,00	34955,06

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 21. Valores área bruta - BCR 100

BCR 100				
AMOSTRAS	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	ÁREA BRUTA Ab (mm²)
1	89,00	190,00	390,00	34655,04
2	90,00	190,00	390,00	35110,99
3	89,00	190,00	390,00	34896,89
4	90,00	190,00	390,00	35012,90
5	90,00	189,00	390,00	35100,00
6	89,00	190,00	391,00	34860,49

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

4.9 ABSORÇÃO DE ÁGUA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NOS BLOCOS BCR

Após a etapa da cura dos blocos de concreto, foram ensaiados para determinar o percentual de absorção, área líquida e resistência à compressão, conforma NBR nº 12.118 (ABNT, 2013). Esses ensaios visam verificar a conformidade das amostras com o estabelecido na NR nº 12.118 (ABNT, 2013), dentre elas, estão o índice médio de absorção de água. Na NBR nº 6136 (2016), determina que o bloco com classificação C (com ou sem função estrutural), deve apresentar, na média, índice de absorção de água, menor igual a 10% para agregado natural e para o agregado leve, média menor igual a 13,0% e com uma resistência á compressão maior/igual a 3,0 MPa.

Estudos apontam que dependendo do percentual de substituição do RCD pelo agregado natural, poderemos ter variações do índice da absorção de água dos blocos de concreto reciclado, conforme análise dos pesquisadores listados na tabela 22.

Tabela 22. Estudo realizados referente ao índice de absorção de água na produção do BCR

Autores	Média Índice de absorção de BCR (%)	% de Substituição	Tipo de Resíduo
SOUZA *et al.* (2022)	16,00	100	RCD
TAUBE, (2019)	7,93 / 8,22 / 8,53 / 9,31 / 10,77	20/40/60/80/100	RCD
RODRIGUES (2015)	7,10 / 8,61 / 11,15	30/50/100	RCD

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Como foi possível observar, nos resultados das pesquisas inseridas na tabela 21, indicam que o índice de absorção de água cresce a medida que ocorre o aumento do percentual de RCD na substituição dos agregados naturais.

Estudo realizado por Bastos; Cruz e Woelffel (2016), identificaram que os concretos com agregados reciclados proporcionam características diferentes dos convencionais, e o grau de diferença depende do tipo e da qualidade do agregado. Verificam-se variações ligadas à relação água/cimento, ao consumo de aglomerantes, à variabilidade na composição e as outras características físico-químicas dos agregados.

O agregado reciclado confere ao concreto uma alta porosidade, o que influencia na resistência do concreto produzido, pois quanto maior a porosidade, menor tende a ser a resistência (BASTOS; CRUZ; WOELFFEL, 2016).

Segundo, Cardoso *et al*. (2016), os RCD possuem microestrutura mais porosa e menos densa do que agregado natural. Portanto, à medida que o RCD aumenta, é mais provável de exibir desempenho mecânico cada vez pior. No entanto, Matar e Dalati (2011), afirmam que há necessidade de estender o experimento para cobrir outras características dos blocos, como porosidade, isolamento e resistência ao fogo, bem como o estudo do efeito de plastificantes.

O ensaio de absorção é determinado pela NBR 12.118 (ABNT, 2013), esse ensaio analisa a relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa, sendo os valores encontrados expressos em porcentagem. Os ensaios foram realizados no laboratório do SENAI LETMAC. Figura 20 e figura 21.

Figura 20. Ensaio de absorção de água dos BR e BCR: pesagem (a), secagem(b), amostra submersa tanque (c), e pesagem superfície umida saturada (d)

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Figura 21. Pesagem do bloco submerso na balança hidrostática

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Na tabela 23, encontram-se os valores médios de absorção de água, massa seca e massa saturada obtidos das amostras do BC, BCR25, BCR50 e BCR 100. O valor médio encontrado no bloco BC foi de 6,45% , no BCR25 foi de 8,70%, no BCR50 de 9,07%e no BCR100 de 9,77%.

Observa-se que pelos resultados obtidos, todos estão abaixo do determinado pela norma técnica NBR nº 6136 (ABNT, 2016), que estabelece para os blocos classificados na Classe C, não estrutural, devem apresentar, para agregado normal, individualmente menor igual a 11% e na média, menor igual a 10%.

Tabela 23. Resultados ensaios valores médios de absorção de água blocos BC, BCR25, BCR50 e BCR100

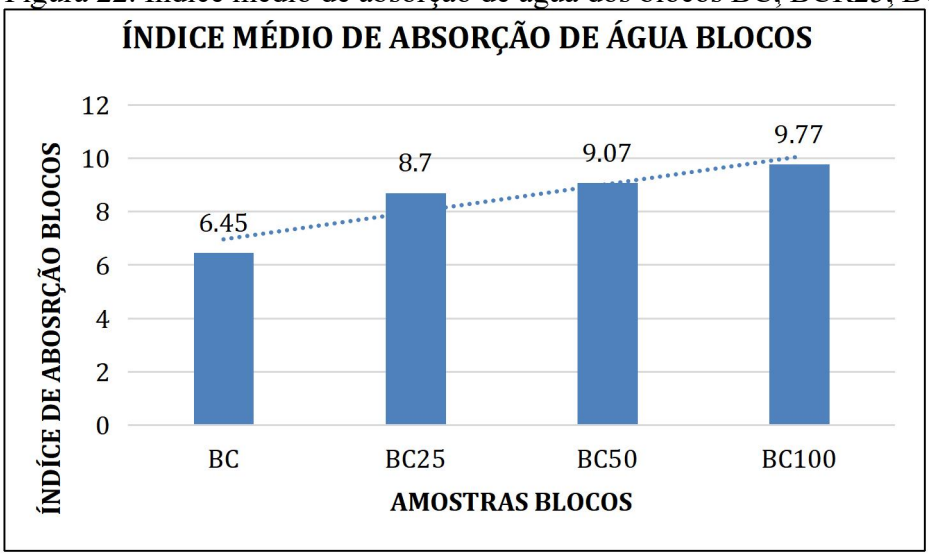
Amostras	Absorção média (%)	Massa seca Média (gramas)	Massa saturada Média (gramas)	Variância	Desvio-padrão
BC	6,45	9045	9690	0,730	0,493
BCR25	8,70	8224	9094	0,442	0,384
BCR50	9,07	7860	8768	0,595	0,445
BCR100	9,77	7703	8680	0,601	0,451

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Na figura 22 evidenciando a proporcionalidade da relação entre aumento de RCD na mistura do concreto com o aumento do índice de absorção de água. Segundo, Seabra e Campos (2020), para os concretos com substituição 30% e 50%, respectivamente, demonstrando que a taxa de absorção de água aumentou com o aumento da porcentagem de substituição dos agregados Reciclados.

Quanto maior a adição do agregado reciclado maior é a porcentagem de vazios do concreto, dessa forma o concreto com substituição 30% apresenta 35% mais vazios comparado ao concreto referência, e para 50% de substituição o aumento de vazios chega a 46% (SEABRA; CAMPOS, 2020).

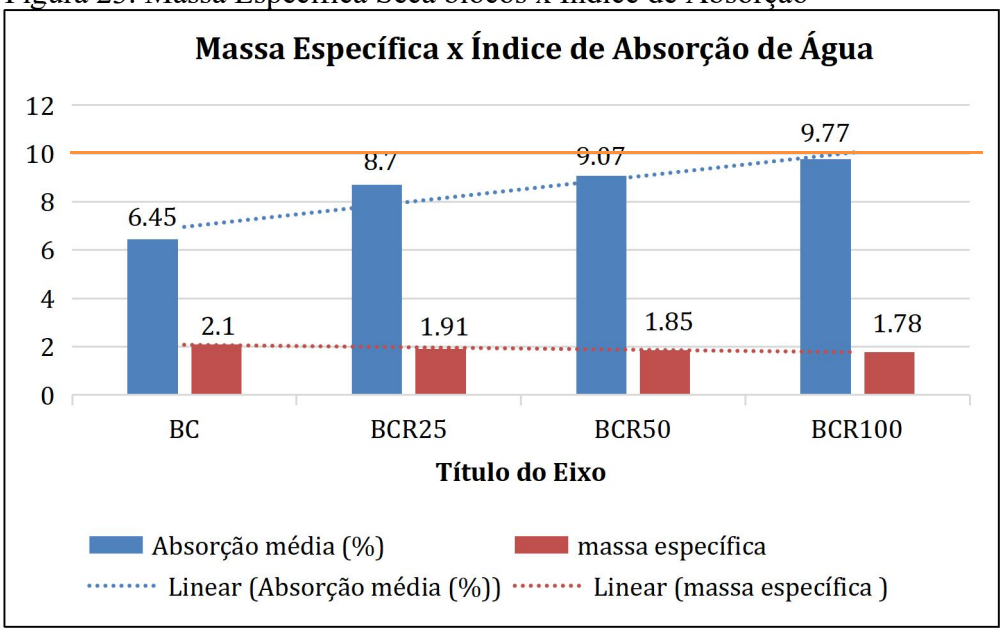
Figura 22. Índice médio de absorção de água dos blocos BC, BCR25, BCR50 e BCR100



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

No figura 23, apresenta-se a relação entre a massa específica dos blocos BC, BCR25, BCR50 e BCR100 e o índice médio de absorção. Percebe-se que a relação é inversamente proporcional, a partir da diminuição da densidade dos blocos, ocorre o aumento do índice de absorção de água, esses resultados foram observado no trabalho de Rodrigues (2015).

Figura 23. Massa Específica Seca blocos x Índice de Absorção



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

4.10 RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO BC E BCR

Os ensaios das amostras referente à resistência à compressão foram realizados no laboratório do SENAI PE, LETCMAC , seguindo o que preconiza a NBR nº 12.118. Foi realizado o processo de capeamento das amostras, através de uma nata de cimento, conforme determinação da NBR nº 21.118 (ABNT, 2013) Na Figura 24 apresenta foto das amostras com o capeamento executado.

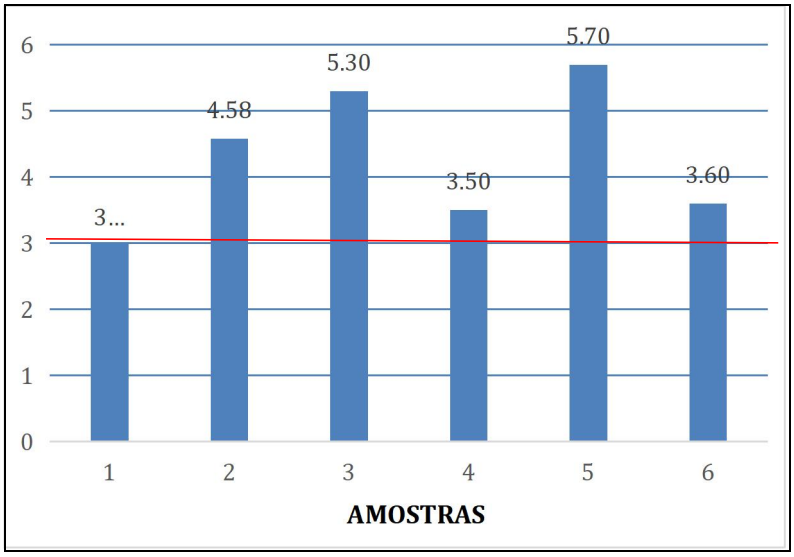
Figura 24. Capeamento das amostras

Fonte: (DO AUTOR, 2023)

A velocidade de aplicação do carregamento para blocos com resistência menores que 8,0 MPa, foi de 0,5 +- 0,01 MPa/s ou 0,5 +- 0,1 Kgf/cm². Os resultados individuais de resistência à compressão, bem como o desvio-padrão, encontram-se no Apêndice F.

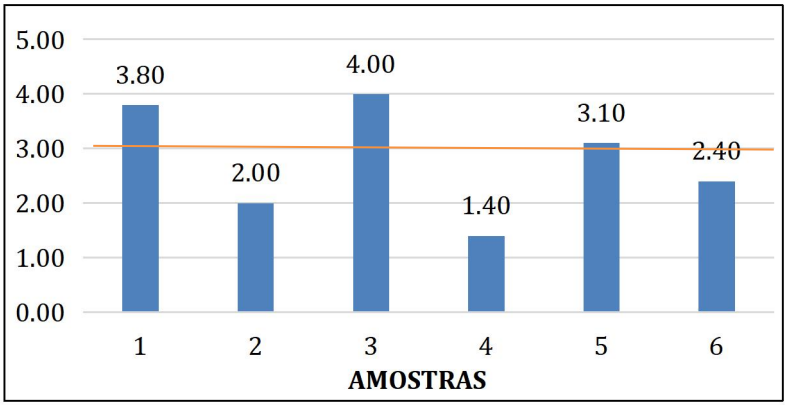
Nas figuras 25 a 28, encontram-se os resultados individuais de resistência à compressão do BC, BCR25, BCR50 e BCR100, na amostra de BCR 25, observou-se que 50% das amostras, ficaram acima de 3,0 MPa, já nas amostras dos BCR 100, 83,33 % ficaram abaixo desse valor. Esse diferença pode-se está atrelado ao procedimento de moldagem ter sido manual, além do fato da cura ter sido de apenas sete dias na lona e o restante natural sem a lona.

Figura 25. Resultados resistência à compressão individuais das amostras BC



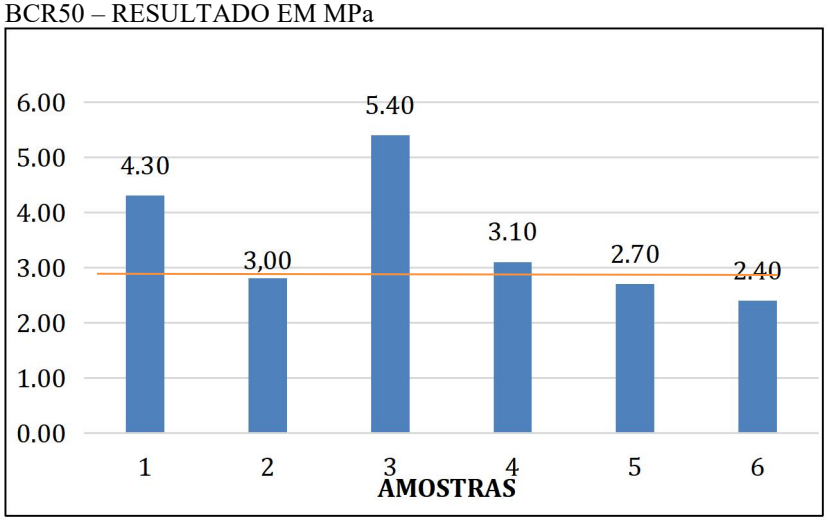
Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Figura 26. Resultados resistência à compressão individuais das amostras BCR25



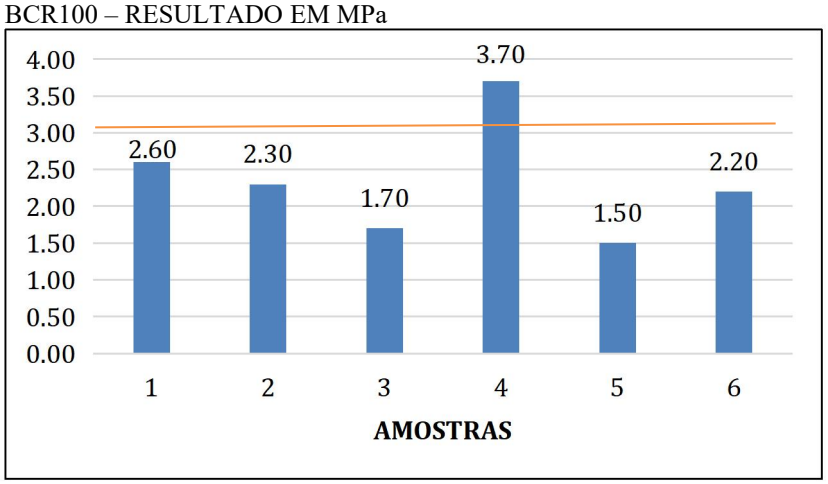
Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Figura 27. Resultados resistência à compressão individuais das amostras BCR 50



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

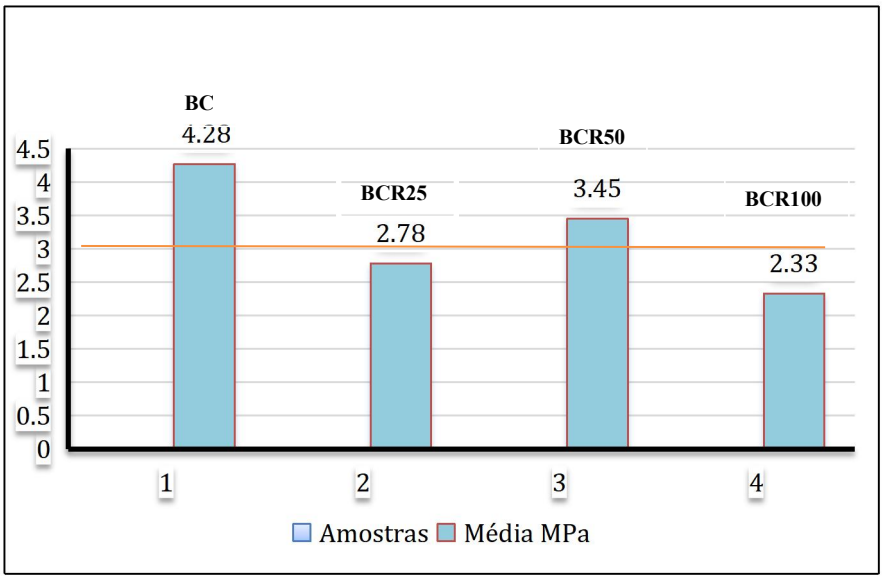
Figura 28. Resultados resistência à compressão individuais das amostras BCR 100



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Na figura 29, apresentam-se os resultados médios de resistência à compressão das amostras BC, BCR25, BCR50 e BCR100, as amostras de BCR25 e BCR100, apresentaram valores médios abaixo de 3,00 MPa, valor mínimo exigido pela norma técnica brasileira para uso não estrutural. A variação de resultados em relação à resistência à compressão, apresentados nessa pesquisa, podem ter a principal causa, o processo de moldagem, que foi manual, não se obtendo a energia de compactação necessária e ao curto prazo de cura, com o uso de lona, que foram de sete dias, sendo o restante da cura sem a lona.

Figura 29. Média das Resistências à compressão das Amostras BC, BCR25, BCR50 e BCR 100



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

No presente trabalho de pesquisa foi cálculo o desvio-padrão das amostras de cada bloco, encontram-se no Apêndice F , na tabela 24, apresentam-se os resultados do fbk, est.

Tabela 24. Resultados do fbk,est. das amostras BC, BCR25, BCR50 e BCR100

Amostras		**Desvio-Padrão das Amostras**	**Fbk, est. (MPa)**
BC	4,28	0,403	3,60
BCR25	2,78	0,382	2,10
BCR50	3,45	0,432	2,74
BCR100	2,33	0,291	1,85

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Essa diferença de resultados pode está atrelada a questão do percentual de finos, bem como o processo de adensamento, que foi realizado de forma manual. Em relação a quantidade de finos, segundo Rodrigues (2015), pode ser responsável por absorver uma parte da água de amassamento, prejudicando assim, a hidratação do cimento, o que irá fragilizar a pasta, criando caminhos preferenciais à ruptura.

Rodrigues (2015), trabalhou com índice de substituição do agregado natural pelo RCD de 30%, 50% e 100%, sendo o blocos fabricados na vibroprensa. Nessa pesquisa, constatou-se que ocorreu uma redução resistência à compressão dos blocos de concreto com

uma substituição dos agregados naturais por reciclados, sendo cerca de 20% inferior ao bloco de referência.

Rodrigues (2015) explica que essa redução de resistência à compressão não foi linear, tendo o bloco BCR50 resistência à compressão superior à do bloco BR30. O mesmo ocorreu nesse trabalho de pesquisa, onde a redução de resistência no BCR 25 maior que no BCR 50, para os blocos BCR100 essa redução foi de 45,0%, em relação à média do Bloco de referência BC.

Os 50% dos resultados de resistência à compressão dos BCR 25% e BCR 50%, foram satisfatório, com exceção do BCR 100%, onde somente uma amostra obteve valor acima de 3,0 MPa. No trabalho de pesquisa de Mesquita *et al.* (2015), foi constatado que as amostras com acréscimo de RCD acima de 50% não atingiram a resistência à compressão determinada por norma técnica, sendo maior igual a 3,0 MPa, para blocos classe C, não estrutural, conforme NBR 6136 (ABNR, 2013).

No trabalho de Mesquita *et al*. (2015) foi constatado que, ao se adicionar ao concreto um percentual de agregados reciclados maior do que 50%, a resistência diminui significativamente. Importante salientar que o trabalho realizado por Mesquita *et al*. (2015) utilizou no processo de fabricação dos blocos uma vibroprensa, o que confere uma maior energia de compactação.

No trabalho de pesquisa realizado por Kobayashi e Mello (2018), ocorreu uma variação significativa nos resultados de resistência à compressão, o pesquisador explica que essa variação dos resultados das amostras dos blocos de RCD, pode ser explicada, pelo fato dos RCD serem materiais heterogêneos.

Já os blocos convencionais utilizam unicamente areia grossa e pedrisco em sua fabricação o que proporciona uma ótima padronização, no montante dos RCD existem diversos materiais como concreto, argamassa, cerâmica, gesso, areia, pedra, entre outros, assim dificultando uma linearidade dos resultados (KOBAYASHI; MELLO, 2018).

A afirmação de Kobayashi e Mello (2018), está de acordo com o estudo realizado por Bastos, Cruz e Woelffel (2016), onde foi possível identificar que os concretos com agregados reciclados, proporcionam características diferentes dos convencionais, e que o grau dessa diferença, depende do tipo e da qualidade dos agregados. Verificam-se variações ligadas à relação água/cimento, ao consumo de aglomerantes, à variabilidade na composição e a outras características físico-químicas dos agregados.

No trabalho realizado por Souza *et al.* (2022), onde foi realizado um trabalho envolvendo a moldagem manual versos mecânica, conclui-se que os blocos fabricados pelo

procedimento de compactação em mesa vibratória apresentaram menor porosidade e maior compacidade das partículas constituintes do concreto. Já pelo método manual, os blocos apresentaram maior porosidade e textura superficial irregular, o que pode ter sido ocasionado, possivelmente, pelo pouco espalhamento da pasta de cimento, acarretando na formação rebarbas durante a desmoldagem.

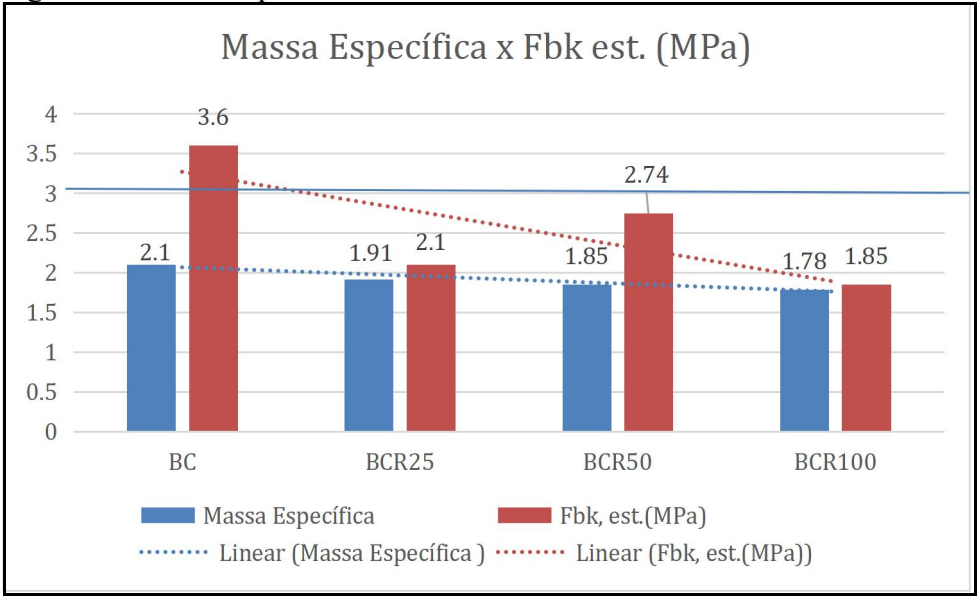
Segundo Souza *et al.* (2022), os resultados obtidos na sua pesquisa demonstraram que a resistência à compressão dos blocos conformados de forma mecânica, em mesa vibratória, apresentou valores superiores aos fabricados de forma manual.

Na pesquisa de Souza *et al.* (2022), ficou demonstrado que a qualidade do maquinário e da tecnologia no processo produtivo dos blocos de concreto está diretamente ligada aos resultados finais obtidos, uma vez que a resistência dos blocos é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração, sendo o desempenho da vibro-prensa responsável pela qualidade final dos elementos fabricados

O agregado reciclado confere ao concreto uma alta porosidade e tende a reduzir a sua resistência à compressão, conforme constatação de Bastos, Cruz e Woelffel (2016), o que ficou comprovado nesse trabalho de pesquisa, em relação aos resultados obtidos quando da substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado.

É possível observar o comportamento das amostras em relação a sua massa específica *versos* valor estimado de resistência à compressão do bloco (fbk est.), que existe a tendência de queda na resistência à compressão quando se aumenta o percentual de RCD na amostra, obtendo-se assim, massa específica baixa, conforme observado nos resultados da figura 30. Os cálculos do fbk est., encontram-se no apêndice G.

Figura 30. Massa específica individual das amostra x Fbk est



Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Uma comprovação do que foi afirmado anteriormente, está no resultado da resistência à compressão, considerando a média de resistência à compressão da amostra do BCR100, observa-se que as mesmas ficaram cerca de 46% abaixo do bloco de referência e 22,33% abaixo do permitido por norma técnica, NBR 6136 (ABNT, 2013), que corresponde a 3,0 MPa, Classe C, uso não estrutural, conforme é possível observar na figura 30.

No artigo de autoria Oliveira, Callejas e Durante (2020), foi possível constatar que para uma amostra de 40 blocos com incorporação de agregado de RCD, 60% estiveram em conformidade com a norma técnica pertinente.

Segundo Gayarre *et. al.* (2017), na pesquisa que envolve o reaproveitamento de RCD para fabricação de premoldados, constatou que o uso de agregados mistos reciclados de fábricas de pré-moldados, produz melhores resultados do que os provenientes de RCD. E que a substituição de agregados naturais por agregados mistos reciclados, leva a uma diminuição nas propriedades mecânicas dos blocos.

Esse comportamento foi constatado no trabalho de Seabra e Campos (2020), observou-se que devido à baixa densidade e resistência do agregado reciclado, este pode influenciar a resistência à compressão a medida que a proporção do agregado reciclado aumenta no traço do concreto.

4.10.1 Características de Ruptura das amostras ensaio de resistência à compressão

Na figura 31, observa-se as que características de ruptura ocorreram no sentido vertical, com desplacamento laterais, em todos as amostras, BC, BCR 25, BCR 50 e BCR 100.

Figura 31. Características das rupturas no ensaio de resistência à compressão amostras BC, BCR25, BCR 50 e BCR 100

Fonte: (DO AUTOR (2023).

No trabalho de Rodrigues (2015), observou uma tendência da amostra do bloco com 100% RCD, a ruptura ocorrer no sentido horizontal, segunda a pesquisadora, indicava que a fragilidade do bloco está, primeiramente, na pasta de concreto e não seguindo a tendência de ruptura à flexão das paredes. Essa característica da pasta está associada ao teor de finos, que uniformiza o bloco, criando caminhos preferenciais à ruptura do elemento (RODRIGUES, 2015).

4.11 RESULTADO DOS CUSTO DA PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO RECICLADO

É importante salientar que o presente trabalho foi desenvolvido em plena pandemia da COVID-19, onde ocorreu uma escassez dos insumos, e consequente aumento de preços mesmos, influenciando de forma negativa, no resultado final, observar tabelas 25 e 26.

O preço mediano, segundo SINAPI, localidade Recife/PE, mês de coleta setembro de 2021, período que foi fabricado o BCR desta pesquisa, código SINAPI Nº 00000650, bloco de vedação de concreto, dimensão de 9 x 19 x 39 cm (Classe C - NBR nº 6.136), o valor médio de R$ 2,20 a unidade. Esse valor refere-se a o bloco tradicional, sem inserção de RCD. O custo estimado para produção do agregado reciclado foi baseado no custo praticado pela empresa Ciclo Ambiental situada em Camaragibe/PE.

Tabela 25. Custos dos insumos naturais, RCD e Fôrma para a produção de 36 blocos

Item	Insumos	Quantidade	Unidade	Custo unitário R$	Total R$
01	Cimento CP II Z	75	kg	0,70	52,50
02	Areia média	80,0	kg	0,31	24,80
03	Brita zero	80,0	kg	0,33	26,40
04	Agregado graúdo reciclado	80,0	kg	0,12	9,60
05	Produção da forma	2,0	Und.	29,90	60,00
		Total R$			**R$ 173,30**

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

Tabela 26. Preço do bloco de concreto de dimensão: 9 cm X 19 cm X 39 cm praticado mercado PE , pesquisa realizada em 11/09/2021

EMPRESA	Preço unitário
EMPRESA A	2,62
EMPRESA B	2,42
EMPRESA C	2,33
EMPRESA D	2,32

Fonte: (DO AUTOR, 2023).

A Empresa CONCREPOXI produz um bloco de concreto não estrutural reciclado, tendo o seu preço unitário de R$ 2,22.

Foi calculado o custo de cada bloco, o bloco de referência BR, BCR 25, BCR 50 e o BCR 100, os cálculos encontram-se no apêndice H.

Custo de produção do bloco de referência foi de R$ 2,86, o custo do BCR 25 foi de R$ 2,75, o custo do BCR 50 foi de R$ 2,63 e o custo do BCR 100 foi de R$ 2,40, a média de preços da tabela 25 foi de R$ 2,49 e o custo da produção médio dos blocos BCR ficou no valor unitário de R$ 2,59. É importante salientar que não foi considerado o custo da mão de obra na fabricação do BCR.

O custo de materiais utilizados, poderiam ser negociados, caso a produção fosse de maior vulto, como acontece com uma fabrica de pre-moldados. Deve-se também se levar em consideração a alta dos preços dos insumos, no período da pandemia COVID-19.

Mesmo considerando que ocorreu um incremento de preços dos insumos da indústria da construção civil, no período de pandemia da COVID-19, demonstrou-se que é financeiramente viável à fabricação do BCR.

5 CONCLUSÕES

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Análise dos resultados em relação a granulometria dos RCD, foi possível constatar que a curva granulometrica encontrada para o agregado graúdo reciclado, utilizados na produção dos blocos de concreto, estão dentro das características de trabalhos anteriores aqui citados.

Em relação ao Índice e absorção de água dos agregados utilizados no experimento, o agregado míúdo e graúdo foram semelhantes aos obtidos por Rodrigues (2015) que foi de 0,61 areia e 1,31 brita 0. No trabalho de Gayarre *et al*. (2017b), obteve 0,50 agregado miúdo.

Já em relação ao agregado graúdo reciclado, o resultado do índice de absorção de água, dessa pesquisa, foi de 10,18% o que ultrapassou ao determinado pela norma técnica estabelece que seja menor que 10% (NBR 6136, ABNT, 2016). Já no trabalho de pesquisa realizado por Rodrigues (2015), que foi de 8,01. Valor obtido no índice de absorção de água do agregado reciclado graúdo, por Mesquita *et al.* (2015), foi de 10,72, Bigoli*n et al.* (2015) 9,12. Na pesquisa de Castro (2012) que trabalhou do resíduo de concreto, obteve 4,90 de absorção de água.

Um dado importante, que contribui na justificativa das características mecânicas do RCD utilizado nessa pesquisa, foi em relação a sua gravimetria, sendo a sua composição de 1,26% placas cerâmicas, 9,43 % de resíduos de blocos cerâmicos, 34,70% de resíduos de concreto e 38,23 % de resíduos de argamassas.

Os resultados demonstraram que as características dos agregados reciclados, como elevada porosidade e absorção de água, forma irregular e textura rugosa e baixa resistência do grão, influenciaram significativamente na qualidade dos concretos produzidos, que, de modo geral, apresentaram dificuldades para atingir as propriedades requeridas (SANTOS; LEITE, 2018).

Podemos concluir que nesse trabalho de pesquisa que a relação entre o percentual de RCD e o seu índice de absorção de água é inversamente proporcional, a partir da diminuição da densidade os blocos, temos o aumento do índice de absorção de água, esses resultados foram observado no trabalho de Rodrigues (2015).

Segundo Gomes (2017), observa-se uma redução da massa específica do concreto reciclado à medida que ocorre o aumento da substituição do agregado natural pelo RCD, fato

este, que poderia indicar uma possível influência das propriedades observados no RCD, na massa específica do concreto, o que foi possível observar no presente trabalho.

No trabalho realizado por Souza *et al.* (2022), verificou-se que o processo de moldagem manual interfere de forma negativa no resultado final. No processo manual, não se consegue aplicar a energia necessária para compactação ideal da moldagem dos blocos de concreto, já no processo mecanizado, como o caso do uso da vibro-prensa, consegue-se obter um melhor resultado na qualidade final dos elementos fabricados.

Em relação a resistência à compressão média dos blocos reciclados do presente estudo, foram os seguintes: BCR25 - 2,78 MPa, BCR50 - 3,45 MPa e BCR100 - 2,33 Mpa. Os resultados médios de resistência à compressão obtidos nos blocos reciclados, em especial, a média das amostras de BCR 25 e BCR 100, ficaram abaixo do valor mínimo de 3,0 MPa, determinado pela Norma Técnica brasileira, NBR nº 6.136 (ABNT, 2013), para blocos de uso não estrutural, Classe C. Observou-se que 50% das amostras individuais do BCR 25 e do BCR 50, ficaram acima de 3,0 MPa, já nas amostras individuais dos BCR 100, 83,33 % ficaram abaixo desse valor.

Essa diferença de resultados pode está atrelada a questão do percentual de finos, bem como o processo de adensamento, que foi realizado de forma manual. Segundo Gomes *et al.* (2017), o uso da prensagem dos concretos secos, para moldagem dos blocos de concreto, necessita de equipamentos denominados vibro-prensas, que compactam e expulsam o ar da mistura, a partir da compressão aliada à vibração, isso confere ao produto uma maior qualidade. Na questão referente ao processo de adensamento, quando se faz uso da vibro-prensa, obtem-se um adensamento mais homogêneo que a compactação manual.

Em estudo realizado por Silva (2007), relatou que, frequentemente encontra-se uma grande variação entre as resistências nominais dos blocos de concreto em relação aos valores reais de compressão, podendo alcançar diferenças acima de 180%, que na maioria das vezes, é resultado de equipamentos de compressão cuja operação é manual e sem controle do tempo de prensagem. Em relação a quantidade de finos, segundo Rodrigues (2015), essa quantidade de finos, pode ser responsável por absorver uma parte da água de amassamento, prejudicando assim, a hidratação do cimento, o que irá fragilizar a pasta, criando caminhos preferenciais à ruptura.

O índice de absorção de água dos BCR100 foi de 9,77% e que, atrelada a quantidade de finos, pode ter prejudicado a hidratação do cimento. Uma comprovação do que foi afirmado anteriormente, está no resultado da resistência à compressão, obtidos na média das amostras do BCR100, que ficou cerca de 22% abaixo do permitido por norma técnica, NBR

6136 (ABNT, 2013), que corresponde a 3,0 MPa, Classe C, uso não estrutural. Diante dos resultados obtidos nessa pesquisa, confirmou-se que aumento de percentuais acima de 50% de RCD na produção dos blocos de concreto, afetam o resultados físicos e mecânicos.

As características do RCD contribuem para o aumento do índice de absorção de água e a diminuição de densidade dos BCR, ocasionado desta forma, redução significativa na resistência à compressão. Também contribuiu para perda da resistência à compressão, o processo de formatação manual, o que favorece baixa compactação do concreto dentro da forma.

As características dos agregados reciclados usados no experimento, tais como: gravimetria, quantidade de finos, fragilidade dos grãos de RCD, massa específica e o índice de absorção de água, influenciaram nos resultados físicos e mecânicos do bloco reciclado. Em relação aos custos de produção do BCR, mesmo tendo enfrentado um período atípico em relação aos custos dos insumos, devido a pandemia da COVID-19, mostrou-se viável.

5.2 SUGESTÕES

A presente trabalho de pesquisa forneceu dados sobre a produção de blocos de concreto com substituição do agregado graúdo reciclados, prensados de forma manual. Neste pesquisa, verificou-se que existem muitas variáveis no processo de fabricação dos blocos, e que essas variáveis, podem causar mudanças de alguns valores que foram aqui foram apresentados. Desta forma, devem ser estudados com maior profundidade.

Diante das razões acima mencionadas, são sugeridas algumas linhas de pesquisa:

- Estudo da substituição dos demais insumos naturais, tais como: areia reciclada junto com agregado graúdo reciclado;

- Elaborar novas proposta de estudo para analisar a produção de BCR com formatação manual versos formatação mecânica, analisando também os resultados em relação ao índice de absorção de água e resistência à compressão;

- Analisar a questão do percentual de finos nas amostras de RCD, através de novos experimentos, focados em comprovar a sua influência na resistência à compressão.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR nº 9935/2011:** Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

ABNT. .**NBR nº 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas,2004.

ABNT. **NBR nº 10004/2004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004a

ABNT. **NBR nº 10007/2004**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004b.

ABNT. **NBR nº 11174/1990**: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III – inertes. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

ABNT. **NBR nº 12.118/2013**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Método de Ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ABNT. **NBR nº 13221/2002**: Transporte terrestre de resíduos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002.

ABNT. **NBR nº 15112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT. **NBR nº 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT. **NBR nº 15114**: Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT. **NBR nº 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT. **NBR nº 15116/2004**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004c.

ABNT. **NBR nº 16/2021a:** Agregados - Amostragem: Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021a.

ABNT. **NBR nº 16.973:** Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 μm por lavagem. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021b.

ABNT. **NBR nº 16697/2018**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.

ABNT. **NBR nº 16916/2021:** Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ABNT. **NBR nº 16917/2021**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ABNT. **NBR nº 6136/2016**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

ABNT. **NBR nº 7211/2009**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

ABNT. **NBR nº NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ABRECON. **História do Entulho**. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção. 2022. Disponível em: https://abrecon.org.br/entulho/historia-do-entulho/. Acesso em: 23 mar. 2023.

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais** (Abrelpe). Panoramados Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019. 2021. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama-2021. Acesso em: 30 mar. 2023.

AHMAD, W. *et al*. A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction, **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509521001984. Acesso em: 04 nov. 2022.

ARAÚJO, D.L *et al*. Influência de agregados reciclados de resíduos de construção em propriedades mecânicas do concreto. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 11, n. 1, 2016.

BAIRAGI, N. K.; VIDYADHARA, H. S.; RAVANDE, K. Mix Design Procedure For Recycled Aggregate Concrete. **Construction & Building Materials,** v. 4, n. 4, p. 188- 193, 1990.

BASTOS, I.A.; CRUZ, L.F.; WOELFFEL, A.B. Fabricação de blocos de concreto para vedação com o uso de agregados reciclados em canteiro de obras. **Revista Científica Faesa**, Vitória, v. 12, n. 1, p. 52-58, 2016.

BIGOLIN, M. **Indicadores de desempenho para blocos de concreto: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD**. 2013. 162f. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato 2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 22 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**; Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%209.605%2C%20DE%2012%20DE%20FEVEREIRO%20DE%201998.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20as%20san%C3%A7%C3%B5es%20penais,ambiente%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAncias. Acesso em: 26 fev. 2021

BRASIL. **Resolução Conama n° 307, de 5 de julho de 2002.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307. Acesso em: 22 fev. 2023.

BRITO, J. Agregados reciclados e sua influência nas propriedades dos betões. lição de síntese, provas de agregação em engenharia civil. **Instituto Superior Técnico**. Lisboa, 2005.

BUTTLER, A.M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. 535f. Tese de Doutorado em Estruturas. São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CAETANO, M. O.; SELBACH, J. B. O.; GOMES, L. P. Composição gravimétrica dos RCD para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 51-67, abr./jun. 2016.

CAMPOS, R.S. *et al*. Influence of recycled aggregates on rheological and mechanical properties of self-compacting concrete. **Revista Matéria**, v. 23, n. 01, 2018

CAMPOS, H.K.T. Reciclagem no Brasil: desafios e perspectivas. **Recursos, Conservação e Reciclagem**, v. 85, p. 130-138, abr. 2014.

CANTERO, B. *et al*.. Inclusion of construction and demolition waste as a coarse aggregate and a cement addition in structural concrete design, **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, v. 19, p. 1338-1352, 2019.

CARDOSO, R. *et al.* Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. **Waste Management,** v. 49, p. 131-145, 2016.

CASTRO, R.A.F R. **Blocos para vedação a partir de resíduos de construção de gesso e de concreto**. 2012. 191f. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 2012.

CONAMA. **Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001**. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, 2001.

CONAMA. **Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004**. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, 2004.

CONAMA. **Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011.** Brasília, ECOATITUDE - ações ambientais. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília, 2011.

CONTRERAS, M. *et al*., 2016. Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 594-600, 2016.

DELAFIORI, A.S. **Incorporação de Resíduos de Pré-fabricados em Concreto para Blocos de Alvenaria**. 2020, 81f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Paraná, Universidade Tecnológica do Paraná, 2020.

FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers**: produção e controle de qualidade. 4. ed. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, 2013.

GAYARRE, F.L. *et al*. Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW, **Construction and Building Material**s, v. 40, p. 1193-1199, 2017a.

GAYARRE, F.L. *et al*. Use of Recycled Mixed Aggregates in Floor Blocks Manufacturing. **Journal of Cleaner Production**. v. 167, n. 20, p. 713-722, 2017b.

GOMES, P. C. C. *et al*. Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 267-280, jul./set. 2017.

HAMEED, A.; HAMZA, M. Characteristics of polymer concrete produced from wasted construction materials, **Energy Procedia**, v. 157, p. 43-50, 2019.

HOOD, R.S.S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação**, 150 páginas. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

HUANG, B. *et al*. Construction and demolition waste management in China through the 3R Principle. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 129, p. 36-44, 2018.

KLEIN, F. B.; GONÇALVES, S. L. F. D. A deposição irregular de resíduos da construção civil no Município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. **Desenvolvimento Meio Ambiente**, v. 40, p. 483-506, abr. 2017.

KOBAYASHI, V. Y.F.; MELLO, A.F.A.. A**nalysis of Resistance to the Compression of Simple Concrete Structural Blocks with the use of Construction and Demolition Waste as Aggregate**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Dourados, Universidade Federal da Grande Dourados, 2018.

KRUGER, P. *et al*. Influence of dusty material content (<75 μ m) in fine aggregate of construction and demolition waste in Portland cement mortars) **Cerâmica**. v. 66, p. 507-515, 2020.

KUMAR, R.. Influence of recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste (CDW) on abrasion resistance of pavement concrete, **Construction and Building Materials**, v. 142, p. 248-255, 2017.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 290 f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEITE, M. B.; MONTEIRO, P. J. M. Microstructural Analysis of Recycled Concrete Using X-ray Microtomography. **Cement and Concrete Research**, v. 81, p. 38-48, 2016.

LIMA, R.S.; ALVES, A.S.; LIMA, L.R. Utilização de agregados reciclados na construção civil. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 5, ed. 11, v. 24, p. 58-70, nov. 2020.

LINTZ, R. C. C. *et al*. Estudo do Reaproveitamento de resíduos de Construção Empregados na Fabricação de Blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. São Paulo, v. 5, n. 2, p. 166-181, abr. 2012.

LOPES, I. R. M. B. **Estudo dos resíduos de construção e demolição e suas aplicações na produção de blocos de concreto**. 2017. 94f. Dissertação de Mestrado em Sociedade Tecnologia e Meio Ambiente. Anápolis, UniEvangélica, 2017.

LOVATO, P.S. *et al*. ,Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. **Construction and Building Materials.** v. 26, p. 437-447, 2012.

MA, K. *et al*. 2021. The morphological characteristics of brick-concrete recycled coarse aggregate based on the digital image processing technique, **Journal of Building Engineerin**g, v. 44, 2021.

MACHADO; J.F. Reuse of construction and demolition waste for the manufacture of masonry blocks. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, Araçatuba, SP, v. 4, n. 1, p. 47-61, jan/jun. 2019.

MARCHIONI, M.L. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco para peças de concreto para pavimentação intertravada**. São Paulo, 2012. 111f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MARTINEZ, P. S. *et al*. Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. **Journal of Cleaner Production**. v. 118, p. 162-169, 2016.

MATAR, P.; DALATI, R. E. Strength of masonry blocks made with recycled concrete aggregates. **Physics Procedia**. v. 21, p. 180-186, 2011.

MATIAS, D. *et al*. Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers, **Construction and Building Materials**, v. 44, p. 101-109, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MENG, Y; LING, T.C.; MO, K. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 198-312, 2018.

MENG, Y. *et al*. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An Overview. **Resources, Conservation & Recycling**. v. 138, p. 298-312, 2018.

MESQUITA, L.C. *et al*. Análise da Viabilidade Técnica de Utilização de Resíduos de Construção e Demolição na Fabricação de Blocos de Vedação. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civi**l, v.10, n. 2, 2015.

MIRALDO, S. *et al*. (Advantages and shortcomings of the utilization of recycled wastes as aggregates in structural concretes. **Construction and Building Materials**, v. 298, 2021.

MYMRIN, V.A. *et al*. Construction material from construction and demolition debris and lime production wastes, **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 207-213, 2015.

MOHAMMED, M.S. *et al*., 2021. Utilization of construction and demolition waste and synthetic aggregates, **Journal of Building Engineering**, v. 43, 2021.

NASIER, S. Utilization of recycled form of concrete, E-wastes, glass, quarry rock dust and waste marble powder as reliable construction materials. **Materials Today**: Proceedings, v. 45, Part 2, p. 3231-3234, 2021.

NEGASH,Y.T. *et al*. Sustainable construction and demolition waste management in Somaliland: Regulatory barriers lead to technical and nvironmental barriers, **Journal of Cleaner Production**, v. 297, 2021.

OLIVEIRA, E. M.L.C.; FARIAS, B.M. **Engenharia na prática**: Construção e inovação**.** Rio de Janeiro: Epitaya 2022. v. 4.

OLIVEIRA, I.P.; CALLEJAS, I.J.A.; DURANTE, L.C.. Blocos de concretos fabricados com incorporação de resíduos sólidos: Uma revisão sistemática. **E&S - Engineering and Science**, v. 9, n. 3, 2020.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Reusing ceramic wastes in concrete, Construction and Building Materials, v. 24, p. 832-838, 2010.

PAULA, P. R. F. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural.** 2010. 131 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2010.

PERNAMBUCO. **Lei estadual nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. Pernambuco: Assembleia Legislativa do Estado de Pernambuco, 2010. Disponível em: https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=14236&complemento=0&ano=2010&tipo=&url=#:~:text=Texto%20Anotado&text=LEI%20N%C2%BA%2014.236%2C%20DE%2013,S%C3%B3lidos%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAncias. Acesso em: 10 fev. 2023.

PETRILLO, A. *et al*. Eco-sustainable Geopolymer Concrete Blocks Production Process, **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 8, p. 408-418, 2016.

PFEIFFENBERGER, L. E. **Aggregate Graduations Used For Various Products Formed on the Block Machine**. Alpena: BesserBlock, 1985.

POON, C.S. *et al*. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. **Cement and Concrete Research**,v. 34, p. 31-36, 2004.

POON, CHI-SUN; KOU, SHI-CONG; WAN, HUI-WEN; ETXEBERRIA, MIREN. Properties of concrete blocks prepared with low grade recycled aggregates. **Waste Management**, v. 29, p. 2369-2377, 2009.

PRADO, D. M. **Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto**. 2006. 130 f. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos. São Carlos, 2006.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; FRASSON JUNIOR, A. Metodologia de Dosagem Para Blocos de Concreto Empregados em Alvenaria Estrutural **Caderno Técnico de Alvenaria Estrutural - CT 10 (Revista Prisma)**. Santa Catarina, 2007.

RAHMAN, I. A.; HAMDAM, H.; ZAIDI, A. M. A. Assessment of Recycled Aggregate Concrete.**Modern Applied Science**, v. 3, n. 10, p. 47-54, 2009.

RANZ, J. *et al*. Monitoring of the curing process in precast concrete slabs: An experimental study,**Construction and Building Materials**, v. 122, p. 406-416, 2016.

RAY, S. *et al*. Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: **A review, Journal of Building Engineering**. v 43, nov. 2021.

RECIFE. **Lei municipal nº 17.072 de 17 2005**, regulamentada pelo Decreto nº 27.399/2013. Estabelece as Diretrizes e Critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Recife: Câmara Municipal do Recife, 2005. Disponível em: https://cm-recife.jusbrasil.com.br/legislacao/261440/lei-17072-05. Acesso em: 10 fev. 2023.

ROBALO, K. *et al*. Experimental development of low cement content and recycled construction and demolition waste aggregates concrete, **Construction and Building Materials**, v. 273, 2021.

RODRIGUES, C.B.. **Blocos de concreto produzidos com agregados reciclados mistos: avaliação das propriedades físicas, mecânicas e térmicas**. 2015. 141f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

SÁEZ, P.V. *et al*. 2 - Estimation of construction and demolition waste, Editor(s): Fernando Pacheco-Torgal, Yining Ding, Francesco Colangelo, Rabin Tuladhar, Alexander Koutamanis, In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, **Advances in Construction and Demolition Waste Recycling**, Woodhead Publishing, p. 13-30, 2020.

SALGADO, F.A.; SILVA, F.A.. Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review, **Journal of Building Engineering,** v. 52, n. 15, jul. 2022 .

SANTOS; A.A.M.; LEITE, M.B. Avaliação de Concretos Reciclados com Agregado Graúdo de Concreto Dosados pelo Método da ABCP Modificado. **Ambiente Construído [online]**. v. 18, n. 4 p. 341-359, 2018.

SEABRA, D. F.; CAMPOS, J. M.. The use of recycled concrete in non-structural elements. **Revista Rede**. v. 4, p. 81-95, 2020.

SERINA, N.G. et al. **Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete**, **Woodhead Publishing**, p. 229-255, 2018.

SHI, J. *et al*. Effect of steam curing regimes on temperature and humidity gradient, permeability and microstructure of concrete, **Construction and Building Materials**. v. 281, 2021.

SILVA, D. A. E.; MELO, C. E. L. (2021). Argamassa aderida, o elo fraco no concreto reciclado: uma revisão. **IX Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 78–89, 2021.

SILVA, R.V.; BRITO, J.; DHIR, R.K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production, **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201-217, 2014.

SILVA, S.R.; ANDRADE, J.J.O. Investigation of mechanical properties and carbonation of concretes with construction and demolition waste and fly ash, **Construction and Building Materials**,v. 153,p. 704-715, 2017.

SILVA, V. A.; FERNANDES, A.L.T.. Cenario of wastemanagement of construction and demolition (CDW) in Uberaba, Minas Gerais (Brazil). **Sociedade & Natureza.** Uberlândia, ano 24 n. 2, p. 333-344, maio/ago., 2012.

SOUTSOS, M.N.; *et al*. Concrete building blocks made with recycled demolition aggregate, **Construction and Building Materials**, v. 25,p. 726-735, 2011.

SOUZA, C. V.; PAULIO, R.; TORALLES, B. Blocos de Concretos de RCD sem Função Estrutural prensados de Forma Manual e Mecânica. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2022.

SOUZA, C. V.; PAULIO, R.; TORALLES, B. Blocos de Concretos de RCD sem Função Estrutural prensados de Forma Manual e Mecânica. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2022.

SOUZA, F. S. *et al*. Mapping and recycling proposal for the construction and demolition waste generated in the Brazilian Amazon, Resources, **Conservation and Recycling**, v. 176, 2022.

TAM, V. W. Y., GAO, X. F., & TAM, C. M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 6, p. 11951203, 2005.

TAM, V. W.Y.; SOOMRO, M.; EVANGELISTA, A.C.J.. A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017), **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 272-292, 2018.

TAUBE, A. S. **Caracterização de Blocos Estruturais de Concreto com Agregados Reciclados.** 2019. 78 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica do Paraná, 2019.

TOPÇU, I. B.; GÜNÇAN, N. F. Using Waste Concrete as Aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 7, p. 1385-1390, 1995.

VIEIRA, C.R. *et al.* Análise da geração dos resíduos da construção e demolição nos canteiros de obra da Cidade do Recife-PE. RPER **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**. n. 59, p. 153-169, 2021.

WILK, B.; GRANT, W. Proportioning Concrete for Product Plants. **Rock Products**, p. 172-176, fev. 1948.

YU, Y. *et al*. Evolution of temperature stress and tensile properties of concrete during steam-curing process, **Construction and Building Materials**, v. 305, 2021.

ZHANG, C. *et al*. An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe, **Science of The Total Environment,** v. 803, 2022.

APÊNDICE A - Caracterização granulométrica dos agregados

Composição granulometrica agregado miúdo areia grossa

PENEIRAS	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		PORC. RET.	PORC. RET.	CÁLCULO
ABERTURA (mm)	MASSA	PORC.	MASSA	PORC.	MÉDIA	ACUM. MÉDIA	MÓDULO
	RET. (g)	RET	RET. (g)	RET	(%)	(%)	DE FIN.
76		0,0		0,0	0	0	0
64		0,0		0,0	0	0	
50		0,0		0,0	0	0	
38		0,0		0,0	0	0	0
32		0,0		0,0	0	0	
25		0,0		0,0	0	0	
19		0,0		0,0	0	0	0
12,50		0,0		0,0	0	0	
9,50	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0	0
6,30	4,90	0,5	4,60	0,5	0	0	
4,80	14,10	1,4	14,00	1,4	1	1	1
2,40	79,50	8,0	78,50	7,9	8	9	9
1,20	210,50	21,1	211,00	21,1	21	30	30
0,60	215,80	21,6	216,00	21,6	22	52	52
0,30	268,00	26,8	267,00	26,7	27	79	79
0,15	140,00	14,0	141,00	14,1	14	93	93
PÓ	79,20	7,9	78,50	7,9	8	101	
TOTAIS	1000,00	1000,0	1000,00	101,1	101,1		

Modulo de finura: 2,64

M1: massa em gramas e percentual da Amostra 1; M2: massa em gramas e percentual da Amostra 2;

Md: Média das massas M1 e M2 em percentual.

Composição granulometrica agregado graúdo brita zero

PENEIRAS	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		PORC. RET.	PORC. RET.	CÁLCULO
ABERTURA (mm)	MASSA	PORC.	MASSA	PORC.	MÉDIA	ACUM. MÉDIA	MÓDULO
	RET. (g)	RET	RET. (g)	RET	(%)	(%)	DE FIN.
76		0,0		0,0	0	0	0
64		0,0		0,0	0	0	
50		0,0		0,0	0	0	
38		0,0		0,0	0	0	0
32	-	0,0	-	0,0	0	0	
25	-	0,0	-	0,0	0	0	
19	-	0,0	-	0,0	0	0	0
12,50	-	0,0	-	0,0	0	0	
9,50	327,90	32,8	328,00	32,8	33	33	33
6,30	518,00	51,8	518,00	51,8	52	85	
4,80	149,00	14,9	150,00	15,0	15	100	100
2,40	0,40	0,0	0,60	0,1	0	100	100
1,20	-	0,0	-	0,0	0	100	100
0,60	-	0,0	-	0,0	0	100	100
0,30	-	0,0	-	0,0	0	100	100
0,15	-	0,0	-	0,0	0	100	100
PÓ	4,70	0,5	3,40	0,3	0	100	
TOTAIS	1000,00	100,0	1000,00	100,0	100,0		
		0,1%		0,1%	1%	1%	1%

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm):	9,50 mm
Módulo de Finura:	6,33

M1: massa em gramas e percentual da Amostra 1; M2: massa em gramas e percentual da Amostra 2;

Md: Média das massas M1 e M2 em percentual.

Tabela 29 Composição granulometrica agregado graúdo reciclado

PENEIRAS	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		PORC. RET.	PORC. RET.	CÁLCULO
ABERTURA (mm)	MASSA	PORC.	MASSA	PORC.	MÉDIA	ACUM. MÉDIA	MÓDULO
	RET. (g)	RET	RET. (g)	RET	(%)	(%)	DE FIN.
76		0,0		0,0	0	0	0
64		0,0		0,0	0	0	
50		0,0		0,0	0	0	
38		0,0		0,0	0	0	0
32	-	0,0	-	0,0	0	0	
25	-	0,0	-	0,0	0	0	
19	-	0,0	-	0,0	0	0	0
12,50	-	0,0	-	0,0	0	0	
9,50	116,00	11,6	122,00	12,2	12	12	12
6,30	130,00	13,0	130,00	13,0	13	25	
4,80	360,00	36,0	358,00	35,8	36	61	61
2,40	206,50	20,7	197,00	19,7	20	81	81
1,20	98,00	9,8	98,00	9,8	10	91	91
0,60	67,00	6,7	65,00	6,5	7	98	98
0,30	63,00	6,3	68,00	6,8	7	105	105
0,15	30,00	3,0	31,00	3,1	3	108	108
PÓ	45,00	4,5	46,00	4,6	5	113	
TOTAIS	1000,00	111,6	1000,00	111,5	111,5		

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm):	9,50 mm
Módulo de Finura: 5,56	

M1: massa em gramas e percentual da Amostra 1; M2: massa em gramas e percentual da Amostra 2;Md: Média das massas M1 e M2 em percentual.

APÊNDICE B - Análise dimensional dos blocos de concreto

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 01 / BC	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS(mm)
1	90,30	190,00	390,30	26,70	23,40
2	91,00	190,30	390,00	27,40	
3	90,10	190,50	390,00	27,20	28,00
			TOTAL	27,80	25,70
TOTAL	271,40	570,80	1170,30	109,1	77,10
Média	90,47	190,27	390,10	27,275	25,70

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 02 / BC	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (MM)	TANSVERSAIS (MM)
1	91,10	191,10	390,40	29,30	31,00
2	93,40	189,80	390,50	29,80	
3	91,20	190,00	390,50	30,60	30,70
TOTAL	275,70	570,90	1171,40	29,20	27,20
			TOTAL	118,9	88,9
Média	91,90	190,30	390,47	29,725	29,63333333

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 03 BC	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TRANSVERSAIS (mm)
1	88,70	190,00	390,10	30,00	23,50
2	90,70	190,20	390,00	27,40	
3	91,90	190,30	389,80	27,50	26,10
TOTAL	271,30	570,50	1169,90	27,50	26,40
			TOTAL	112,4	76
Média	90,43	190,17	389,97	28,1	25,33333333

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 04 BC	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	89,90	190,00	390,00	29,5	27,80
2	91,30	190,00	390,40	30,5	
3	90,90	189,00	390,00	25,9	27,00
TOTAL	272,10	569,00	1170,40	28,3	25,8
			TOTAL	114,2	80,6
Média	90,70	189,67	390,13	28,55	26,86666667

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 05 BC	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	88,80	189,90	390,00	27,60	27,50
2	89,80	190,00	390,50	26,50	
3	89,80	190,10	390,40	25,80	29,30
TOTAL	268,40	570,00	1170,90	27,70	24,50
			TOTAL	107,6	81,3
Média	89,47	190,00	390,30	26,9	27,1

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 06 BC	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	90,00	190,00	390,50	27,5	22,7
2	89,80	190,10	390,40	27,8	
3	90,20	189,90	390,40	26,7	25,7
TOTAL	270,00	570,00	1171,30	29,8	25,0
			TOTAL	111,8	73,4
Média	90,00	190,00	390,43	27,95	24,5

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA BCR 25

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 25					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 01 BCR 25	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TRANSVERSAIS (mm)
1	90,40	188,40	390,20	27,00	26,70
2	88,30	188,40	390,00	26,50	
3	91,40	188,50	390,20	26,90	26,10
			TOTAL	27,20	22,90
TOTAL	270,10	565,30	1170,40	107,6	75,70
Média	90,03	188,43	390,13	26,9	25,23

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 25					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 02 BCR25	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TRANSVERSAIS (mm)
1	89,00	190,00	388,70	26,80	25,40
2	90,10	190,00	390,20	27,40	
3	90,40	189,00	390,30	26,20	27,60
TOTAL	269,50	569,00	1169,20	27,70	22,50
			TOTAL	108,1	75,5
Média	89,83	189,67	389,73	27,025	25,16666667

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA BCR 25

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 25					
	DIMENSÕES (mm)			PAREDES	
AMOSTRAS 03 BCR25	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TRANSVERSAIS (mm)
1	90,90	188,00	390,20	29,20	25,50
2	88,20	189,00	390,30	27,70	
3	90,10	189,00	389,00	29,10	27,80
TOTAL	269,20	566,00	1169,50	28,60	24,00
			TOTAL	114,6	77,30
Média	89,73	188,67	389,83	28,65	25,77

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 25					
	DIMENSÕES			PAREDES	
AMOSTRAS 04 BCR25	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	88,90	190,00	390,40	26,00	26,00
2	88,90	189,90	390,60	27,40	
3	90,00	190,00	390,50	24,80	26,70
TOTAL	267,80	569,90	1171,50	25,40	23,00
			TOTAL	103,6	75,70
Média	89,27	189,97	390,50	25,9	25,23

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA BCR 25

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 25					
	DIMENSÕES			PAREDES	
AMOSTRAS 05 / BCR25	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	88,80	189,00	390,30	26,80	25,00
2	89,80	189,70	390,20	25,10	
3	90,00	189,00	390,00	27,20	24,20
TOTAL	268,60	567,70	1170,50	27,50	24,30
			TOTAL	106,6	73,5
Média	89,53	189,23	390,17	26,65	24,5

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 25					
	DIMENSÕES			PAREDES	
AMOSTRAS 06 / BCR25	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TRANSVERSAIS (mm)
1	90,00	189,00	389,00	28,00	25,70
2	90,00	190,00	389,00	30,10	
3	90,00	190,00	390,00	29,48	24,70
TOTAL	270,00	569,00	1168,00	28,00	23,00
			TOTAL	115,58	73,40
Média	90,00	189,67	389,33	28,895	24,47

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA BCR 50

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 50					
	DIMENSÕES (mm) 01			PAREDES	
AMOSTRAS 01 / BCR 50	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	90,00	189,00	389,00	29,00	24,50
2	90,00	189,70	389,00	27,60	
3	90,00	186,70	390,00	28,70	26,40
TOTAL	270,00	565,40	1168,00	29,20	24,90
			TOTAL	114,5	75,80
Média	90,00	188,47	389,33	28,625	25,27

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 50					
	DIMENSÕES (mm) 02			PAREDES	
AMOSTRAS 02 / BCR50	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	90,00	189,00	390,00	27,40	23,30
2	90,00	190,00	389,00	28,90	
3	89,00	190,00	389,00	29,30	30,00
TOTAL	269,00	569,00	1168,00	26,40	27,50
			TOTAL	112	80,8
Média	89,67	189,67	389,33	28	26,93333333

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA BCR 50

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 50					
	DIMENSÕES (mm) 03			PAREDES	
AMOSTRAS 03 BCR50	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	90,00	188,00	390,20	29,30	24,00
2	90,00	189,00	389,80	28,40	
3	90,00	188,00	390,30	26,70	25,20
TOTAL	270,00	565,00	1170,30	27,30	24,40
			TOTAL	111,7	73,60
Média	90,00	188,33	390,10	27,925	24,53

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 50					
	DIMENSÕES (mm) 04			PAREDES	
AMOSTRAS 04 BCR50	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	89,00	190,00	390,50	28,10	22,30
2	90,00	190,30	390,20	26,30	
3	88,00	189,00	389,00	25,50	29,50
TOTAL	267,00	569,30	1169,70	25,70	24,40
			TOTAL	105,6	76,20
Média	89,00	189,77	389,90	26,4	25,40
			TOTAL		

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA BCR 50

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 50					
DIMENSÕES (mm) 05				PAREDES	
AMOSTRAS 05 BCR50	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	89,00	190,00	390,30	26,70	23,00
2	89,00	190,30	390,00	26,50	
3	90,00	189,00	390,00	27,30	25,60
TOTAL	268,00	569,30	1170,30	28,60	25,40
			TOTAL	109,1	74
Média	89,33	189,77	390,10	27,275	24,66666667

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 50					
DIMENSIONAIS (mm) 06				PAREDES	
AMOSTRAS 06 BCR50	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	89,00	190,00	390,20	26,70	22,70
2	90,00	189,00	390,30	30,00	
3	90,00	190,00	389,00	26,80	27,30
TOTAL	269,00	569,00	1169,50	25,20	24,60
			TOTAL	108,7	74,60
Média	89,67	189,67	389,83	27,175	24,87

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 100					
	DIMENSÕES (mm) 01			PAREDES	
AMOSTRAS 01 BCR 100	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	89,10	190,00	390,40	26,60	24,60
2	88,50	190,00	390,00	26,10	
3	89,00	189,50	389,50	27,50	25,90
TOTAL	266,60	569,50	1169,90	27,60	25,80
			TOTAL	107,8	76,30
Média	88,87	189,83	389,97	26,95	25,43

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 100					
	DIMENSÕES (mm) 02			PAREDES	
AMOSTRAS 02 BCR100	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	91,60	190,00	390,30	27,00	24,40
2	89,60	190,00	390,00	27,10	
3	88,70	189,50	390,50	29,20	27,60
TOTAL	269,90	569,50	1170,80	28,80	25,60
			TOTAL	112,1	77,6
Média	89,97	189,83	390,27	28,025	25,86666667

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA BCR 100

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 100					
	DIMENSÕES (mm) 03			PAREDES	
AMOSTRAS 03 BCR100	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	89,50	189,00	390,00	27,60	24,80
2	88,60	190,00	390,40	27,20	
3	90,20	189,50	390,20	31,30	28,30
TOTAL	268,30	568,50	1170,60	29,20	26,80
			TOTAL	115,3	79,90
Média	89,43	189,50	390,20	28,825	26,63

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 100					
	DIMENSÕES (mm) 04			PAREDES	
AMOSTRAS 04 BCR100	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	90,00	189,50	391,00	27,50	26,30
2	89,30	190,00	390,00	28,60	
3	89,80	190,00	390,00	28,90	28,60
TOTAL	269,10	569,50	1171,00	29,80	27,30
			TOTAL	114,8	82,20
Média	89,70	189,83	390,33	28,7	27,40

CONTINUAÇÃO DAS MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BC REFERÊNCIA BCR 100

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 100					
	DIMENSÕES (mm) 05			PAREDES	
AMOSTRAS 05 BCR100	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	Longitudinais (mm)	Transversais (mm)
1	90,00	189,00	390,00	27,10	24,00
2	90,00	189,00	390,00	26,00	
3	90,00	190,00	390,00	27,70	27,70
	270,00	568,00	1170,00	29,30	26,00
TOTAL			TOTAL	110,1	77,7
Média	90,00	189,33	390,00	27,525	25,9

MEDIÇÕES DIMENSIONAIS BLOCOS BCR 100					
	DIMENSÕES (mm) 06			PAREDES	
AMOSTRAS 06 BCR100	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	LONGITUDINAIS (mm)	TANSVERSAIS (mm)
1	89,70	190,00	391,00	28,80	29,70
2	89,00	189,00	391,00	28,30	
3	89,00	190,00	390,00	28,80	26,60
TOTAL	267,70	569,00	1172,00	27,20	24,00
			TOTAL	113,1	80,30
Média	89,23	189,67	390,67	28,275	26,77

APÊNDICE C – Resultados individuais de área líquida dos blocos de concreto

Resultados individuais de área líquida dos blocos de concreto

BC					
AMOSTRAS	m2 (gramas)	m3 (gramas)	Altura média (mm)	Área Líquida (mm2)	Área líquida Média (mm2)
1	10002	7640	190	12431,57895	
2	10010	7500	191	13141,36126	12769,92744
3	10000	7580	190	12736,84211	

BR 25					
AMOSTRAS	m2 (gramas)	m3 (gramas)	Altura média (mm)	Área Líquida (mm2)	Área líquida Média (mm2)
1	9110	6420	190	14157,89474	
2	9000	6350	191	13874,34555	13852,85203
3	9020	6450	190	13526,31579	

BR 50%					
AMOSTRAS	m2 (gramas)	m3 (gramas)	Altura média (mm)	Área Líquida (mm2)	Área líquida Média (mm2)
1	8440	6110	190	12263,15789	
2	8540	6260	191	11937,17277	12277,30321
3	8500	6100	190	12631,57895	

BR 100					
AMOSTRAS	m2 (gramas)	m3 (gramas)	Altura média (mm)	Área Líquida (mm2)	Área líquida Média (mm2)
1	8310	5800	190	13210,52632	
2	8340	6004	190	12230,36649	12769,77
3	8345	5900	190	12868,42105	

APÊNDICE D – Resultados individuais de massa específica dos blocos de concreto

Resultados individuais densidade superfície seca (DS) e saturada (DSS)

Cálculo densidades BC (gramas)	
m1(gramas)	9045
m2	9690
m3	5369
Bloco BC	
superfície seca	
DS	2,10
superfície saturada	
DSS	2,24

Cálculo densidades BCR25 (gramas)	
m1	8224
m2	9094
m3	4789
Bloco BCR25	
superfície seca	
DS	1,91
superfície saturada	
DSS	2,11

Cálculo densidades BCR50 (gramas)	
m1	7860
m2	8768
m3	4527
Bloco BCR50	
superfície seca	
DS	1,85
superfície saturada	
DSS	2,06

Cálculo densidades BCR100 (gramas)	
m1	7703
m2	8680
m3	4360
Bloco BCR100	
superfície seca	
DS	1,78
superfície saturada	
DSS	2,00

APÊNDICE E – Resultados individuais de absorção de água dos blocos de Concreto

Índice de absorção de água blocos BC, BCR 25, BCR 50 e BCR 100

ABSORÇÃO DE ÁGUA BC				
Amostras	m1(gramas)	m2(gramas)	ABSORÇÃO	Média
1	9067	9802	7,35	
2	9432	9962	5,3	6,45
3	8636	9305	6,69	

ABSORÇÃO BCR25				MÉDIA
Amostras	m1 (gramas)	m2 (gramas)	ABSORÇÃO	
1	1	7924	8867	8,70
2	2	8122	8974	
3	1	7924	8867	

ABSORÇÃO BCR50				Média
Amostras	m1(gramas)	m2(gramas)	ABSORÇÃO	
1	8387	9229	8387	9,07
2	7437	8453	7437	
3	7757	8622	7757	

ABSORÇÃO BCR100				Média
Amostras	m1(gramas)	m2(gramas)	ABSORÇÃO	
1	7106	8176	10,7	9,77
2	7762	8744	9,82	
3	8240	9119	8,79	

APÊNDICE F – Resultados individuais de resistência à compressão dos blocos de concreto

Tabela 30 - Resultados ensaio de Resistência à compressão amostras BC.

BC			
AMOSTRA	CARGA	ÁREA (mm²)	RESULTADO MPa
1	102921,0	35246	3,00
2	16449,0	3591,5	4,58
3	19080,0	3600	5,30
4	12460,0	35385	3,50
5	20500,0	34920	5,70
6	12800,0	35139	3,60
	Média		4,28
	Variância		1,011
	Desvio-padrão		0,4104

BCR25			
AMOSTRA	CARGA	ÁREA (mm²)	RESULTADO MPa
1	13590,0	3576,32	3,80
2	7100,0	3550,00	2,00
3	14310,0	3577,50	4,00
4	5100,0	3642,90	1,40
5	11260,0	3632,26	3,10
6	8690,0	3620,80	2,40
	Média		2,38
	Variância		0,881
	Desvio-padrão		0,382

Continuação tabela 30

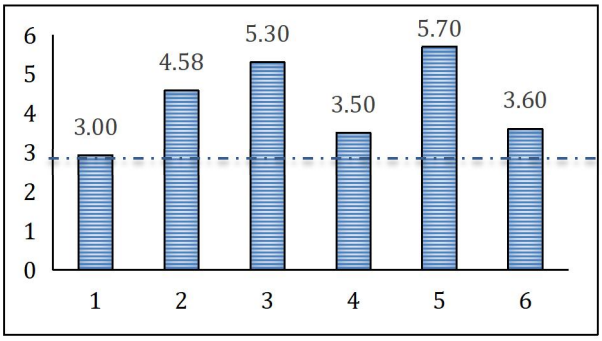
BCR50			
AMOSTRA	CARGA	ÁREA (mm²)	RESULTADO MPa
1	15270	3551,16	4,30
2	10110	3610,71	3,00
3	19350	3583,33	5,40
4	11140	3593,55	3,10
5	9610	3559,26	2,70
6	8440	3516,67	2,40
	Média		3,48
	Variância		1,122
	Desvio-padrão		0,432

BCR100			
AMOSTRA	CARGA	ÁREA (mm²)	RESULTADO MPa
1	9180	3530,77	2,60
2	8150	3543,48	2,30
3	6180	3635,29	1,70
4	13370	3613,51	3,70
5	5310	3540,00	1,50
6	7860	3572,73	2,20
	Média		2,33
	Variância		0,508
	Desvio-padrão		0,291

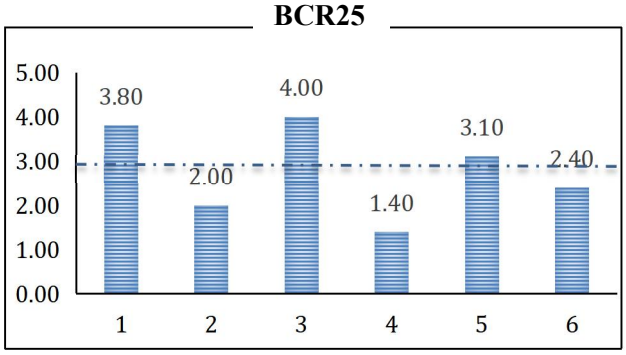
Fonte: Autor

Resultados individuais resistência à compressão das amostras (MPa) BC, BCR25, BCR 50 e BCR

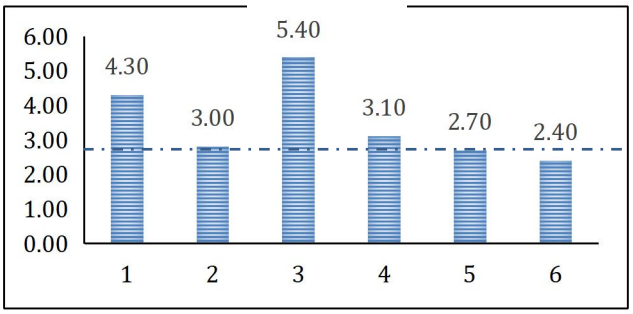
BC



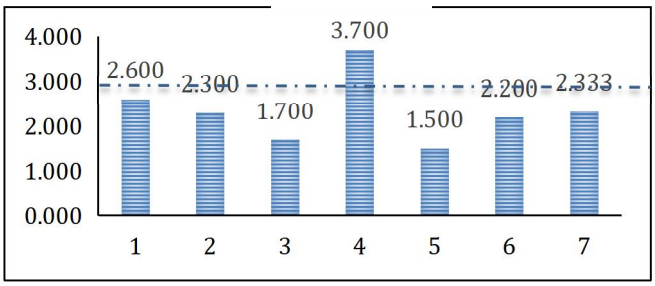
BCR25



BCR50



BCR100



APÊNDICE G – Cálculo do Desvio-Padrão das Amostra

BC			
AMOSTRA	CARGA	ÁREA (mm²)	RESULTADO MPa
1	102921,0	35246	3,00
2	16449,0	3591,5	4,58
3	19080,0	3600	5,30
4	12460,0	35385	3,50
5	20500,0	34920	5,70
6	12800,0	35139	3,60
	Total		25,68
		Média	4,28

Amostras BC

Desvio padrão BC				
amostras	valores	Média	X-MDE	X^2
1	3	4,28	-1,28	1,6384
2	4,58	4,28	0,3	0,09
3	5,30	4,28	1,02	1,0404
4	3,50	4,28	-0,78	0,6084
5	5,70	4,28	1,42	2,0164
6	3,60	4,28	-0,68	0,4624
Total	25,68			5,856
Média	4,28			

Resultado BC		
	Variânnica	0,976
	Desvio	0,403319559

Amostra BCR 25

BCR25			
AMOSTRA	CARGA	ÁREA (mm²)	RESULTADO MPa
1	13590,0	3576,32	3,80
2	7100,0	3550,00	2,00
3	14310,0	3577,50	4,00
4	5100,0	3642,90	1,40
5	11260,0	3632,26	3,10
6	**8690,0**	**3620,80**	**2,40**
	Total		16,7
		Média	2,783333333

Desvio padrão BR25				
Amostras	valores	Média	X-MDE	X^2
1	3,80	2,783	1,017	1,034289
2	2,00	2,783	-0,783	0,613089
3	4,00	2,783	1,217	1,481089
4	1,40	2,783	-1,383	1,912689
5	3,10	2,783	0,317	0,100489
6	2,40	2,783	-0,383	0,146689
Total	16,7			5,288334
Média	2,783333333			
Resultado BR25				
		Variânnica	0,881389	
		Desvio	0,383272966	

Amostra BCR 50

BCR50			
AMOSTRA	CARGA	ÁREA (mm²)	RESULTADO MPa
1	15270	3551,16	4,30
2	10110	3610,71	2,80
3	19350	3583,33	5,40
4	11140	3593,55	3,10
5	9610	3559,26	2,70
6	8440	3516,67	2,40
	Total		20,7
		Média	3,45

Desvio padrão BR50				
Amostras	valores	Média	X-MDE	X^2
1	4,30	3,45	0,85	0,7225
2	2,80	3,45	-0,65	0,4225
3	5,40	3,45	1,95	3,8025
4	3,10	3,45	-0,35	0,1225
5	2,70	3,45	-0,75	0,5625
6	2,40	3,45	-1,05	1,1025
Total	20,7			6,735
Média	3,45			
		Resultado BR50		
		Variânnica	1,1225	
		Desvio	0,432531309	

Amostra BCR 100

BCR100			
AMOSTRA	CARGA	ÁREA (mm²)	RESULTADO MPa
1	9180	3530,77	2,60
2	8150	3543,48	2,30
3	6180	3635,29	1,70
4	13370	3613,51	3,70
5	5310	3540,00	1,50
6	7860	3572,73	2,20
	Total		14,00
		Média	2,33

Desvio padrão BR100				
Amostras	valores	Média	X-MDE	X^2
1	2,60	2,33	0,27	0,0729
2	2,30	2,33	-0,03	0,0009
3	1,70	2,33	-0,63	0,3969
4	3,70	2,33	1,37	1,8769
5	1,50	2,33	-0,83	0,6889
6	2,20	2,33	-0,13	0,0169
Total	14			3,0534
Média	2,333333333			
		Resultado BR50		
		Variânnica	0,5089	
		Desvio	0,291233011	

Cálculo do Fbk est.

Fbk est = fbm - 1,65 x Sd

Onde:

Fbk est. corresponde a resistência média da amostra, expressa em MPa.

Sd é o desvio-padrão.

O ensaio foi realizado no laboratório do SENAI PE LETMAC que possui acreditação do INMETRO.

Fbk est. BC

Fbk est. = 4,28 - 1,65 x 0,4033 = 3,61 MPa

Fbk est. BCR 25

Fbk est. = 2,78 - 1,65 x 0,383 = 2,14 MPa

Fbk est. BCR 50

Fbk est. = 3,45 - 1,65 x 0,4325 = 2,74 MPa

Fbk est. BCR 100

Fbk est. = 2,33 - 1,65 x 0,29 = 1,84 MPa.

APÊNDICE H – Cálculo do Custo Individual de produção dos Blocos

Custo do Bloco de Referência

75 kg / 36 unidade produzidas -= 1,38 kg/unidade produzida.

2,08 kg por unidades de blocos de referência produzidos

1kg cimento custa → R$ 0,70

2,08 custa ⟶ R$ X

X = R$ 1,45

AREIA

80 kg / 36 unidades produzidas = 2,22 kg de areia por unidade de bloco produzido

1,0 kg de areia custa → R$ 0,31

2,22 kg custa ⟶ R$ X

X= R$ 0,68

BRITA

80 Kg / 36 unidades produzidas = 2,22 kg

1,0 kg de brita zero custa → R$ 0, 33

2,22 kg custa ⟶ R$ X

X = 0,73

TOTAL

Cimento + Areia + Brita = R$ 1,45 + R$ 0,68 + R$ 0,73 = R$ 2,86

Custo para produzir BCR 25

CIMENTO

75 kg / 36 unidade produzidas -= 1,38 kg/unidade produzida.

2,08 kg por unidades de blocos de referência produzidos

1kg cimento custa → R$ 0,70

2,08 custa ⟶ R$ X

X = R$ 1,45

AREIA

80 kg / 36 unidades produzidas = 2,22 kg de areia por unidade de bloco produzido

1,0 kg de areia custa → R$ 0,31

2,22 kg custa ⟶ R$ X

X= R$ 0,68

BRITA

80 Kg / 36 unidades produzidas = 2,22 kg

25% DE 2,22 Kg = 0,56

Custo da brita natural = 1,67 kg x R$ 0,33 = R$ 0,55

Custo do agregado reciclado 25% = 0,56 kg x R$ 0,12 = R$ 0,067

Custo total brita natural + brita zero reciclada= R$ 0,55 + R$ 0,067 = R$ 0,62

Custo total do BCR 2 5

Cimento + Areia + 75 % Brita Natura + 25% AGR = R$ 1,45 + R$ 0,68 + R$ 0,62 = R$ 2,75

Custo para produzir BCR 50

CIMENTO

75 kg / 36 unidade produzidas -= 1,38 kg/unidade produzida.

2,08 kg por unidades de blocos de referência produzidos

1kg cimento custa → R$ 0,70

2,08 custa ⟶ R$ X

X = R$ 1,45

AREIA

80 kg / 36 unidades produzidas = 2,22 kg de areia por unidade de bloco produzido

1,0 kg de areia custa → R$ 0,31

2,22 kg custa ⟶ R$ X

X= R$ 0,68

BRITA

80 Kg / 36 unidades produzidas = 2,22 kg

50% DE 2,22 Kg = 1,11 Kg

Custo da brita natural = 1,11 kg x R$ 0,33 = R$ 0,37

Custo do agregado reciclado 50% = 1,11 kg x R$ 0,12 = R$ 0,133

Custo total brita natural + brita zero reciclada= R$ 0,37 + R$ 0,133 = R$ 0,50

Custo total do BCR 50

Cimento + Areia + 50 % Brita Natura + 50% AGR = R$ 1,45 + R$ 0,68 + R$ 0,50 = R$ 2,63

Custo para produzir BCR 100

CIMENTO

75 kg / 36 unidade produzidas -= 1,38 kg/unidade produzida.

2,08 kg por unidades de blocos de referência produzidos

1kg cimento custa → R$ 0,70

2,08 custa ⟶ R$ X

X = R$ 1,45

AREIA

80 kg / 36 unidades produzidas = 2,22 kg de areia por unidade de bloco produzido

1,0 kg de areia custa → R$ 0,31

2,22 kg custa ⟶ R$ X

X= R$ 0,68

BRITA

80 Kg / 36 unidades produzidas = 2,22 kg

50% DE 2,22 Kg = 1,11 Kg

Custo do agregado reciclado 100% = 2,22 kg x R$ 0,12 = R$ 0,133

Custo total brita natural + brita zero reciclada= R$ 0,37 + R$ 0,133 = R$ 0,50

Custo total do BCR 50

Cimento + Areia + 100% AGR = R$ 1,45 + R$ 0,68 + R$ 0,27 = R$ 2,40