



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

**BÁRBARA DE OLIVEIRA SOARES**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE TIJOLOS CERÂMICOS NA FABRICAÇÃO DE  
TIJOLOS SUSTENTÁVEIS**

**Recife, 2022**

**BÁRBARA DE OLIVEIRA SOARES**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE TIJOLOS CERÂMICOS NA FABRICAÇÃO DE  
TIJOLOS SUSTENTÁVEIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva  
Orientador

**Recife, 2022**

S676u Soares, Bárbara de Oliveira.  
Utilização de resíduos de tijolos cerâmicos na fabricação de tijolos sustentáveis. /  
Bárbara de Oliveira Soares. – Recife, PE: A autora, 2022.  
54 f.: color. ; il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva.  
Coorientadora: Profª. Drª Renata Maria C. M. de O. Carvalho.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2022.

Inclui referências e anexos.

1. Gestão Ambiental. 2. Construção Civil. 3. Tijolo Cerâmico. 4. Sustentabilidade.  
I. Silva, Ronaldo Faustino da. (Orientador). II. Carvalho, Renata Maria C. M. de O. (Coorientadora). III. Título.

624.0685 CDD (22 Ed.)

**BÁRBARA DE OLIVEIRA SOARES**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE TIJOLOS CERÂMICOS NA FABRICAÇÃO DE  
TIJOLOS SUSTENTÁVEIS**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: 07 /06 /2022

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva  
Orientador - IFPE

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Renata Maria Caminha Mendes de Oliveira Carvalho  
Coorientadora - IFPE

---

Prof. Dr. João Manoel de Freitas Mota  
Coorientador - IFPE

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra  
Examinadora Interna

---

Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva  
Examinador Interno

---

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira  
Examinador Externo

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por toda força concedida em superar os obstáculos e concluir mais esta etapa da minha vida.

Ao **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)** pela oportunidade dada para o desenvolvimento dos conhecimentos na área de Gestão Ambiental que com certeza contribuirão para meu desenvolvimento profissional.

A **todos os profissionais que compõem o Mestrado Profissional em Gestão Ambiental** do IFPE, que sempre se fizeram presentes e empenhados em ajudar a todos nessa jornada acadêmica.

Ao meu orientador **Prof. Ronaldo Faustino**, pela paciência e valorosa orientação no desenvolvimento do trabalho.

Ao meu coorientador, **Prof. João Manoel**, pelo conhecimento e motivação em todo o processo de aprendizagem.

Ao colega **André Miranda**, pelo apoio técnico durante essa jornada.

A todos os **meus amigos e amigas** pelo incentivo, companheirismo, e compreensão em todos os momentos da minha vida, bem como os que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, **Jaqueline e João**, por estarem sempre ao meu lado, em qualquer circunstância, me impulsionando a atingir meus objetivos.

Ao meu marido **Lucas Balio**, pela compreensão e amparo durante o mestrado e sempre.

Obrigada a todos que direta e indiretamente contribuíram com este trabalho.

## RESUMO

A indústria da construção civil faz parte de um contexto de extrema importância, pois é uma das principais atividades para o desenvolvimento econômico e social, em contrapartida é uma grande causadora de impactos ambientais, desde extração de matérias primas, incluindo o esgotamento dos recursos naturais até a destinação final, nem sempre ambientalmente correta, dos resíduos gerados pela atividade. O simples descarte dessas peças com defeito em aterros gera custos de remoção e impactos ambientais, bem como o desperdício de um material que contém suas propriedades físicas e mecânicas inerentes. Diante do exposto, o estudo em questão teve o objetivo de avaliar a viabilidade do emprego de resíduos do bloco cerâmico (RBC), oriundos do descarte de blocos/tijolos cerâmicos como substituição do agregado miúdo convencional (areia) para produção de blocos maciços de vedação para alvenaria sem fins estruturais, caracterizando-o como tijolo sustentável, bem como, blocos para pavimentação interna em habitações populares, e a própria argamassa para utilização em contrapisos ou em alvenaria. Para a fabricação desses blocos, foi estudada experimentalmente a viabilidade técnica de se utilizarem os resíduos cerâmicos em substituição parcial ao agregado miúdo natural (areia), com o intuito de apostar em uma solução alternativa para destinação e utilização desses resíduos. Para o desenvolvimento da pesquisa foram moldados 30 corpos de prova, desmembrados entre as Famílias F1, F2, F3, F4 e F5 com percentuais de 0%, 50% e 100% de substituição do resíduo do bloco cerâmico pelo agregado miúdo (areia). A família F1 é a de referência, portanto, sem substituição, já a F2 e F3 houve substituição da areia pelo RBC nas proporções de 50% e 100%, respectivamente, com adição de metacaulim, e nas famílias F4 e F5 utilizou-se as mesmas proporções (50% e 100%) sem adição de metacaulim. Para todos os traços, foram realizados ensaios de resistência à compressão, absorção de água e módulo de elasticidade. O estudo apontou que o teor de substituição de 50% na Família F2 demonstrou melhores resultados, e notou-se que a utilização do resíduo cerâmico na fabricação dos blocos maciços aumenta a resistência a compressão se comparado ao traço onde não houve a substituição, considerando as hipóteses e condições trabalhadas neste estudo. Conclui-se que é possível garantir um material resistente, sustentável ao reutilizar os resíduos do bloco cerâmico como agregado miúdo, e com isso, minimiza-se a utilização do agregado convencional, reduzindo, conseqüentemente, o custo do material final.

**Palavras-chave: Resíduos da Construção Civil. Bloco Cerâmico. Tijolo Sustentável.**

## ABSTRACT

The construction industry is part of an extremely important context, as it is one of the main activities for economic and social development, on the other hand, it is a major cause of environmental impacts, from the extraction of raw materials, including the depletion of natural resources to the final destination, not always environmentally correct, of the waste generated by the activity. The simple disposal of these defective parts in landfills generates removal costs and environmental impacts, as well as the waste of a material that contains its inherent physical and mechanical properties. In view of the above, the study in question aimed to evaluate the feasibility of using ceramic block waste (RBC), from the disposal of ceramic blocks/bricks as a replacement for conventional fine aggregate (sand) for the production of solid sealing blocks for masonry without structural purposes, characterizing it as sustainable brick, as well as blocks for internal paving in popular housing, and the mortar itself for use in subfloors or masonry. For the manufacture of these blocks, the technical feasibility of using ceramic waste as a partial replacement for the natural fine aggregate (sand) was experimentally studied, in order to bet on an alternative solution for the destination and use of these wastes. For the development of the research, 30 specimens were molded, divided into Families F1, F2, F3, F4 and F5 with percentages of 0%, 50% and 100% replacement of the residue from the ceramic block by the fine aggregate (sand). The F1 family is the reference, therefore, without replacement, whereas in the F2 and F3 families, sand was replaced by RBC in the proportions of 50% and 100%, respectively, with the addition of metakaolin, and in the F4 and F5 families, the same proportions (50% and 100%) without the addition of metakaolin. For all traces, compressive strength, water absorption and elastic modulus tests were carried out. The study showed that the replacement content of 50% in the F2 Family showed better results, and it was noted that the use of ceramic residue in the manufacture of solid blocks increases the compressive strength compared to the trace where there was no replacement, considering the hypotheses and conditions worked in this study. It is concluded that it is possible to guarantee a resistant, sustainable material by reusing the ceramic block waste as fine aggregate, and with that, the use of conventional aggregate is minimized, consequently reducing the cost of the final material.

**Keywords: Construction Waste. Ceramic Block. Sustainable Brick**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável .....	14
Figura 2 -	Resíduos da Construção Civil .....	18
Figura 3 -	Ordem de Prioridade – Resíduos Sólidos .....	22
Figura 4 -	Ciclo do Gerenciamento dos Resíduos .....	25
Figura 5 -	RBC sendo triturado em menor diâmetro .....	30
Figura 6 -	Peneiramento .....	31
Figura 7 -	Granulometria do RBC .....	31
Figura 8 -	Família F2 e F3 .....	34
Figura 9 -	Família F4 e F5 .....	34
Figura 10 -	Ensaio de consistência – Família F1 .....	36
Figura 11 -	Ensaio de consistência – Família F2 .....	37
Figura 12 -	Ensaio de consistência – Família F3 .....	37
Figura 13 -	Corpos de prova da Família F2 .....	38
Figura 14 -	Ensaio de Resistência à compressão .....	40
Figura 15 -	Corpos de Prova na estufa .....	41
Figura 16 -	Corpos de Prova – Imersão 72h .....	42
Figura 17 -	Ensaio do Módulo de Elasticidade .....	43
Figura 18 -	Bloco Maciço (Família F2) .....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação – Resolução Conama Nº307/2022 .....	23
Tabela 2 -	Requisitos NBR 15270-1 .....	29
Tabela 3 -	Traços utilizados .....	33
Tabela 4 -	Índice de Consistência .....	36
Tabela 5 -	Resistência à compressão dos blocos ensaiados .....	44
Tabela 6 -	Absorção de água dos blocos ensaiados .....	44
Tabela 7 -	Módulo de elasticidade dos blocos ensaiados .....	45
Tabela 8 -	Resultados.....	46

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
Mpa	MegaPascal
NBR	Norma Brasileira
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RBC	Resíduo do Bloco Cerâmico
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
VED	Classe de Bloco Cerâmico de Vedação

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivo Específico.....	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1	A ERA DA SUSTENTABILIDADE – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL..	14
2.2	PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	15
2.3	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC).....	17
2.4	MARCO LEGAL.....	20
2.4.1	Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).....	20
2.4.2	Resolução CONAMANº307/2002.....	22
2.5	REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DO BLOCO CERÂMICO.....	24
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1	PROPRIEDADES REQUERIDAS.....	28
3.2	COLETA DOS RESÍDUOS DE BLOCO CERÂMICO.....	29
3.3	BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO (MOAGEM).....	30
3.4	PRODUÇÃO DOS BLOCOS.....	32
3.4.1	Processo.....	32
3.4.2	Dosagem.....	32
3.4.3	Determinação do Índice de Consistência.....	35
3.4.4	Moldagem dos Corpos de Prova.....	38
3.5	ENSAIO DAS PROPRIEDADES.....	39
3.5.1	Resistência à Compressão.....	39
3.5.2	Absorção de Água.....	40
3.5.3	Módulo de Elasticidade.....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	51
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A disposição final inadequada de resíduos sólidos é uma problemática ambiental vivida atualmente, impulsionada pelo consumo crescente de bens e serviços. Essa geração demasiada de resíduos aliada ao descarte inadequado, têm gerado impactos ambientais e socioeconômicos significativos, tornando-se necessário o desenvolvimento de técnicas para minimizar os impactos negativos e maximizar os positivos.

A sustentabilidade é um tema muito discutido e pesquisado atualmente, porém sua conquista futura possuem um longo caminho pela frente, alguns setores como, por exemplo, o da construção civil, ainda tem um longo caminho pela frente para alcançar o desenvolvimento sustentável consciente e menos agressivo ao meio ambiente. A indústria da construção civil é conhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social no Brasil. Por outro lado, comporta-se como grande geradora de resíduos, causando impactos ambientais.

Este fato está associado aos processos dinâmicos de expansão e urbanização, em principal, nas cidades, percebe-se a necessidade de se avançar, juntamente com setor da construção civil, sociedade e órgãos públicos, para implantação de políticas públicas especificamente voltadas para o gerenciamento adequado desses resíduos objetivando a efetiva redução dos impactos ambientais gerados por eles.

Diante da problemática apresentada e nos moldes como é conduzida a construção civil no país, apresentando-se como grande geradora de resíduos, se faz necessário a implantação incessantemente de métodos e tecnologias para alcance do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos. No Brasil, onde boa parte dos processos construtivos é essencialmente manual e cuja execução se dá praticamente no canteiro de obras, os resíduos de construção e de demolição, além de potencialmente degradadores do meio ambiente, ocasionam problemas logísticos e prejuízos financeiros (NAGALLI, 2014).

No canteiro de obras ocorrem grandes perdas de materiais, com excessiva geração de resíduos e esse fator torna-se mais grave quando não há descarte final adequado. Estima-se que os municípios coletaram cerca de 47 milhões de toneladas de resíduos de construções e demolições em 2021, de acordo com a Abrelpe (2021), excetuando-se ainda os que são coletados por empresas privadas terceirizadas pelas construtoras, sem nenhum tipo de tratamento e posterior reciclagem dos mesmos.

Qualquer modificação boa ou ruim, no todo ou em parte das atividades no meio ambiente, quando utilizadas indevidamente ou em excesso, define um impacto ambiental. E para

minimizar todo e qualquer impacto, é necessário estabelecer medidas de controle, seja ele por meio de produtos ou serviços.

Buscando agregar a esta temática, o presente trabalho visa abordar a alternativa do aproveitamento do resíduo do bloco cerâmico proveniente da construção civil, seja oriundo dos canteiros de obra ou de olarias, onde há quebras consideráveis e não conformação dos produtos, gerando uma grande quantidade de resíduo de cerâmica vermelha, que nos moldes atuais geralmente é descartado como rejeito, onde poderia ser reciclado para outros fins.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do emprego de resíduos do bloco cerâmico (RBC), oriundos do descarte de blocos/tijolos cerâmicos como substituição do agregado miúdo convencional (areia) para produção de blocos maciços de vedação para alvenaria sem fins estruturais, caracterizando-o como tijolo sustentável, bem como, blocos para pavimentação interna em habitações populares, e a própria argamassa para utilização em contrapisos ou em alvenaria.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Coletar os resíduos dos blocos/tijolos cerâmicos;
- b) Realizar ensaios os ensaios de Resistência à Compressão; Absorção de Água e Módulo de Elasticidade;
- c) Avaliar, a partir dos resultados dos ensaios, a viabilidade de produzir blocos maciços de vedação a partir de resíduos do bloco/tijolos cerâmicos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a obtenção de dados suficientes de modo a subsidiar a pesquisa científica, foram realizados levantamentos do estado da arte relativos à temática. Foram utilizadas as bases científicas *Scopus*, *Scielo*, *Web of Science*, além de buscas em plataformas de patentes como o INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), e a base internacional *The Lens*.

### 2.1 A ERA DA SUSTENTABILIDADE – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são uma agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. Em setembro de 2015, 193 países membros das Nações Unidas adotaram uma nova política global: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030, cujo objetivo é elevar o desenvolvimento mundial.

Para tanto, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos, possuem metas a serem alcançadas por meio de uma ação conjunta que agrega diferentes níveis de governo, organizações, empresas e a sociedade como um todo nos âmbitos internacional, nacional e também local.

Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ODS Brasil (2021)

O ODS 12 visa a produção e o consumo sustentáveis, com foco em ações globais e locais, como alcançar o uso eficiente de recursos naturais. Neste objetivo, também estão incluídos o cuidado com resíduos sólidos e a diminuição da emissão de poluentes.

Quanto aos resíduos sólidos, este ODS pode ser alcançado através da redução da geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso, tanto no consumo como na produção. Desta forma, é possível repensar o ciclo de vida dos produtos e redesenhar a cadeia de produção. Atitudes como: Separar e destinar os resíduos de forma adequada; Cuidar do desperdício e da perda de alimentos; Adotar tecnologias que recuperem os resíduos, aproveitar o máximo da matéria-prima; pensar no pós-consumo e embalagens, são algumas das alternativas para buscar melhorar o cenários dos resíduos sólidos no mundo.

Uma das metas estabelecidas para 2030 é reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. Se torna cada vez mais evidente que a adoção de padrões de produção e consumo sustentáveis, aliado ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos podem reduzir significativamente os impactos ao ambiente e à saúde.

A gestão de resíduos, no contexto do ODS 12 sobre Consumo e Produção Responsáveis, significa garantir uma vida saudável e um planeta saudável no futuro. A boa gestão destes é relevante e apoia a implementação de muitos outros.

## 2.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

A má gestão dos resíduos sólidos (destinação, transporte, descarte e o armazenamento incorreto dos resíduos) causam sérios impactos ambientais e danos à saúde humana. Os impactos da má gestão dos resíduos sólidos causam poluição atmosférica, poluição hídrica, do solo e visual, além disso, dependendo do tipo de resíduo, podem causar doenças para população, ocasionando um dano à saúde das pessoas. Além disto, o gerador, estará propício a sanções e penalidades.

O Brasil possui uma população de aproximadamente 215 milhões de habitantes (IBGE, 2022), sendo que 84% (180 milhões) vivem em áreas urbanas. No país, grande parte dos resíduos gerados em residências, estabelecimentos comerciais e indústrias não são dispostos de forma ambientalmente adequada, ou seja, em locais onde possam receber o devido tratamento antes de serem enviados para a destinação final. Dados da ABRELPE (2021) informam que no ano de 2021, o país gerou cerca de 75,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, sendo 30,3 milhões de toneladas dispostas inadequadamente, correspondendo aproximadamente a 40%

dos resíduos sólidos urbanos gerados. Assim, a preocupação mundial e no Brasil, em relação à geração e disposição dos resíduos sólidos, em especial os domiciliares, tem aumentado ante o crescimento da produção, gerenciamento inadequado e falta de áreas para disposição final. No Brasil, em 2010, foi sancionada a Lei nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Após anos de tramitação no Congresso Nacional, a referida lei permitiu ao país o avanço necessário ao enfrentamento dos problemas ambientais, econômicos e sociais decorrentes do manejo inadequado dos resíduos. A aprovação da PNRS estabelece princípios, objetivos e instrumentos necessários ao avanço no país da gestão adequada dos resíduos sólidos, com responsabilidade e técnica apropriada. O controle ambiental de resíduos e rejeitos é de extrema importância para a minimização dos impactos ambientais negativos associados à sua disposição inadequada. De fato, o enorme volume de resíduos sólidos gerados diariamente nos centros urbanos brasileiros tem trazido uma série de problemas ambientais, sociais, econômicos e administrativos, relacionados à dificuldade de implementar soluções adequadas à disposição desses resíduos.

Os impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pela quantidade expressiva do entulho e o seu descarte inadequado impõem a necessidade de soluções rápidas e eficazes para a sua gestão adequada. Decorrendo da prioridade de uma ação conjunta da sociedade, poder público e indústria da construção civil para elaboração e consolidação de programas específicos que visem à minimização desses impactos. As políticas ambientais relacionadas ao tema devem voltar-se para o adequado manuseio, redução, reutilização, reciclagem e disposição desses resíduos.

Em contrapartida, também é o setor que mais consome recursos naturais na forma de matéria prima, o que degrada ainda mais o meio ambiente, visto que grande parte desses recursos tem um tempo remoto para se renovar na natureza, fator que pode ocasionar sua escassez (ABRELPE, 2021).

Devido à problemática gerada em pleno século 21 pela excessiva geração de resíduos, se faz necessário a elaboração de alternativas cada vez mais eficientes para reuso dos resíduos gerados, minimizando assim a exacerbada produção de lixo rumo à sustentabilidade. A indústria da construção tem a necessidade do uso de soluções sustentáveis, uma delas é a incorporação de resíduos como materiais.

## 2.3 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O gerenciamento dos resíduos sólidos tem o objetivo de assegurar a correta gestão durante todo o processo, desde a geração até a destinação final. Para tanto, é necessário estar munido de instrumentos legais e normativos para guiá-los para o correto manejo dos resíduos.

A importância e a necessidade de um ordenamento das questões relacionadas à gestão integrada de resíduos sólidos resultaram na publicação de políticas públicas que dispõem sobre princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas ao assunto, constituindo-se de instrumentos para minimização dos danos ambientais advindos do setor em questão.

O constante aumento do consumo nas cidades proporciona grande geração de resíduos sólidos urbanos. Esse crescimento não é acompanhado pelo descarte adequado, o que pode prejudicar o meio ambiente e a saúde humana com contaminação do solo, dos corpos d'água e da atmosfera. Um grande potencial é desperdiçado, já que muitos objetos poderiam ser reciclados ou reaproveitados, poupando recursos naturais, financeiros e emissões de CO<sup>2</sup>, que desequilibram o efeito estufa.

Os resíduos da construção civil representam um grave problema em muitas cidades brasileiras. Apesar da indústria da construção civil ser um dos mais importantes ramos de produção do país, segundo NAGALLI (2014) perfazendo cerca de 15% do PIB brasileiro, o setor traz consigo impactos ambientais, a extração de recursos minerais, por exemplo, já que a maioria das matérias-primas de insumos da construção é derivada de recursos não renováveis. A geração exacerbada de resíduos também causa grandes impactos, podendo gerar problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública, com a disposição clandestina em locais impróprios, terrenos baldios, margens de rios e córregos, gerando problemas como: enchentes, poluição visual, proliferação de vetores de doenças e contaminação do ar, água e solo. Além deste fato, representam outro problema, que sobrecarrega os sistemas de limpeza pública municipal, além do esgotamento dos aterros devido ao grande volume gerado. No Brasil, até 2002 não existiam leis e resoluções para os resíduos gerados pelo setor da construção civil. Por todos estes aspectos, esses resíduos no Brasil são um dos principais problemas ambientais para empresas e cidades. Segundo Abrelpe (2021), os municípios brasileiros coletaram aproximadamente 47 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), o que ainda não representa o total produzido, uma vez que a coleta e a destinação final destes resíduos são de responsabilidade do gerador. Os resíduos sempre existirão e as políticas hoje existentes são voltadas quase que exclusivamente para a disposição controlada desses resíduos. Essa disposição deve ser feita em aterros, o que tem significado alto custo em função de sua localização e distância em relação

aos grandes centros.

As obras utilizam grande quantidade e variedade de materiais de construção que, na maioria das vezes, por falta de planejamento, são desperdiçados e transformados em resíduos (Figura 2). A geração destes resíduos pode ser considerada consequência dessas deficiências do planejamento, visto que a ausência de definição de etapas e atividades produz perdas e desperdícios. Além disso, já se sabe hoje que nas atividades de construção, a falta de gestão do processo construtivo contribui diretamente para aumento do custo final da construção, além dos custos de remoção, de tratamento e de disposição final dos resíduos, que seriam evitados com a implantação do gerenciamento dos resíduos nos canteiros de obra. Os custos deste desperdício são distribuídos por toda sociedade, desde o aumento do valor final das edificações até os impostos cobrados pelos órgãos públicos. Além disso, geralmente esse custo é embutido nesses impostos para disponibilizar a remoção, o transporte e o tratamento dos resíduos.

Figura 2. Resíduos da Construção Civil



Fonte: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2020)

A construção civil é a única indústria capaz de absorver quase que totalmente os resíduos que produz. Diferentemente de outros setores industriais, a engenharia civil não pode reduzir a quantidade dos materiais necessários para edificar uma obra sem comprometer a qualidade e a durabilidade da construção. Em razão disso, é necessário encontrar alternativas para a destinação final dos resíduos, praticando a reciclagem na própria obra ou em usinas implantadas para esse fim.

Uma questão importante refere-se aos locais onde serão depositados, o grande problema dos resíduos da construção civil não está em sua periculosidade, segundo a NBR 10004:2004, os resíduos sólidos provenientes da construção civil podem ser classificados como uma mistura de materiais inertes ou Classe III, caracterizando-o como material de baixa degradação, porém o significativo volume que representam, agiliza o esgotamento de aterros, principalmente nos grandes centros urbanos, onde as áreas são escassas e o volume gerado é considerável, o que, conseqüentemente, acaba ocasionando transtornos à população. É cada vez mais difícil encontrar locais adequados para fazer o aterramento dos resíduos da construção, já que além de aspectos técnicos, como geografia e geologia do local, também é necessário encontrar um espaço grande, por ser comum haver desperdícios de materiais nas obras, a segregação nem sempre é correta, o que faz com que haja o aumento de resíduos levados até os aterros.

A reutilização do entulho também representa vantagens econômicas para a administração pública municipal, tais como: redução dos custos com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d'água e encostas, aumento da vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a necessidade de áreas para implantação de novos aterros, diminuição nos custos de operação dos aterros sanitários, pela diminuição do entulho, diminuição nos custos de pavimentação, infraestrutura urbana e construção de habitações populares, geração de emprego e renda e criação de novas oportunidades de negócios (CARNEIRO, 2001).

O RCD é gerado principalmente na fase de vedações e acabamento, esse fato é, em grande parte, devido a deficiências no planejamento da execução destas etapas. Na tentativa de minimizar a distância entre projeto e execução, foram desenvolvidos métodos de racionalização construtiva (LACÔRTE, 2013). A geração do resíduo, é bem significativa, podendo representar mais da metade dos resíduos sólidos urbanos. Estima-se que a geração se situe em torno de 450 kg/(hab x ano), variando naturalmente de cidade a cidade e com a oscilação da economia (CASTRO, 2012).

Portanto cada vez mais, existe a importância e extrema necessidade de se reciclar o que se utiliza, que no caso da construção civil, traz inúmeras vantagens, como por exemplo: preservação dos recursos naturais como a substituição destes por resíduos, prolongando a vida útil das reservas naturais e minimizando o impacto ambiental; redução da necessidade de áreas para aterro devido à diminuição do volume de resíduos a serem depositados; menor gasto de energia, seja para produção de um novo bem, seja com o transporte e gestão do aterro; geração de empregos com o surgimento das empresas para reciclagem.

Dentre as dificuldades enfrentadas para implantação efetiva de reciclagem, está o desafio de

introduzir novas tecnologias; pensamento equivocado, porém existente, de que um produto confeccionado com a utilização de resíduos possui qualidade inferior a outros confeccionados com matérias primas virgens; falta de cultura para segregação de resíduos.

A grande quantidade de entulho gerada no Brasil mostra que o desperdício de material é um fato relevante e que por isso se faz necessário que universidades, indústrias, poder público e sociedade civil, elaborem pesquisas e desenvolvam tecnologias, além da implantação de soluções relacionadas à reciclagem dos resíduos da construção civil, como matérias-primas de insumos a serem utilizados na construção propriamente dita, as quais já demonstram viabilidade com base em estudos já realizados. O manejo adequado dos resíduos traz notória melhoria da qualidade de vida e dos impactos ambientais, além de favorecer o desenvolvimento sustentável.

## 2.4 MARCO LEGAL

O gerenciamento dos resíduos da construção civil tem o objetivo de assegurar a correta gestão destes nas obras e serviços de engenharia durante todo o processo, desde da geração até a destinação final. Para tanto, é necessário estar munido de instrumentos legais e normativos para guiá-los para o correto manejo dos resíduos.

A importância e a necessidade de um ordenamento das questões relacionadas à gestão integrada de resíduos sólidos resultaram na publicação de políticas públicas que dispõem sobre princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas ao assunto, constituindo-se de instrumentos para minimização dos danos ambientais advindos do setor em questão.

### 2.4.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal Nº12.305/2010, é um marco legal, instituído em 2010, uma lei bastante atual que contempla instrumentos que permitam um avanço dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a correta gestão dos resíduos sólidos, sendo um dos principais instrumentos da legislação referente aos resíduos sólidos no Brasil. A referida Política prioriza a: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada (Figura 3). A Lei também traz um conceito interessante e importante, sobre a respeito da diferença entre resíduo e rejeito (aquilo que não pode ser reciclado ou

reutilizado), sendo este segundo um material na qual não tem mais como reciclar ou não possui tecnologia própria para este fim.

Conforme Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal Nº12.305/2010):

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

[...]

“XV – rejeitos: resíduos sólidos disponível que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;”

“XVI – resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível ;”

O resíduo possui valor econômico e pode ser revalorizado, já o rejeito não possui valor econômico e precisa ser destinado adequadamente.

A Política também prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada.

Anteriormente à lei, quando um consumidor descartava um produto em um local inadequado, tornava-se difícil identificar o responsável. Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, essa responsabilidade é dividida entre os diversos participantes da cadeia, já que é determinada a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. A análise do ciclo de vida de um item compreende todo o processo do produto, desde a extração da matéria-prima, produção, consumo e descarte final. A responsabilidade sobre o produto cabe a comerciantes, fabricantes, importadores, distribuidores, cidadãos e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na logística reversa.

Figura 3. Ordem de Prioridade – Resíduos Sólidos



Fonte: Autora (2022)

Outro destaque importante que a Lei traz é sobre o encerramento dos lixões, que, segundo disposto, deveria ser banido no prazo de 04 anos (2014) após a data de publicação da referida Lei em 2010, com metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Atualmente, esta meta vem sendo adiada devido a inúmeras dificuldades encontradas. Após mais de uma década de promulgada a referida Política o combate ao descarte inadequado do lixo brasileiro segue a passos lentos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos é extensa e versa sobre diversas temáticas, como ordens de prioridade para evitar geração de resíduos, determina que algumas tecnologias podem ser utilizadas para gerar energia a partir do “lixo”, mostra as especificidades dos planos de gerenciamento em cada nível.

#### **2.4.2 Resolução Conama N°307/2002**

Em 2002 foi instituída a Resolução Conama N° 307/2002 alterada pelas Resoluções n° 348, n° 431 e n° 448, na qual estabelece os critérios para gestão dos resíduos da construção civil no país, com diretrizes, procedimentos além das responsabilidades e deveres a serem seguidos pelos municípios quanto ao gerenciamento destes resíduos. Assim, o gerenciamento de Resíduos da Construção Civil constitui-se como um instrumento para minimização dos danos ambientais advindos do setor em questão.

Conforme Resolução Conama N°307/2002, a definição dos resíduos da construção civil:

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

[...]

“I - resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;”

A classificação dos resíduos conforme a referida resolução, propõe a divisão em quatro classes diferentes, obedecendo a classificação de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação – Resolução Conama N°307/2002

CLASSIFICAÇÃO - RESOLUÇÃO CONAMA N°307/2002 e suas alterações	
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: solos provenientes de terraplanagem, argamassa, componentes cerâmicos e concreto (blocos, peças pré-moldada e moldada in loco).
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução CONAMA n° 469/2015).
C	Resíduos que ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução CONAMA n° 431/11).
D	Resíduos perigosos tais como: tintas, solventes, óleos e outros oriundos de clínicas radiológicas, instalações industriais e telhas e demais objetos que contenham amianto (esta classe passou a vigorar com a nova redação da Resolução n° 348/04 do CONAMA).

Fonte: Autora (2021)

A Resolução Conama N°307/2002 apresenta um modelo de gestão na qual são definidas responsabilidades para os agentes envolvidos: geradores, transportadores, áreas de destinação e municípios, cabendo a estes a elaboração do plano de gerenciamento de resíduos estabelecendo diretrizes, critérios e procedimentos para cada um dos agentes envolvidos.

A partir da Resolução Conama N°307/2002, os geradores também são responsáveis pela destinação final dos resíduos quando não há viabilidade para o reuso ou reciclagem dos resíduos na própria obra. Os geradores devem encaminhar os resíduos observando sua classificação, através de um transportador devidamente licenciado para tal, para a reciclagem ou uma disposição final ambientalmente adequada. A resolução também determina a proibição do envio a aterros sanitários e a adoção do princípio da prevenção de resíduos.

No que se refere à destinação final, os resíduos *Classe A*, deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou ainda encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Já os resíduos *Classe B* deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura. E os *Classe C e D* deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas, finalizando assim o ciclo dos resíduos conforme Figura 1.

Figura 4. Ciclo do gerenciamento de Resíduos



Fonte: ISO 14001 - PGRS (Adaptado)

## 2.5 REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE BLOCO CERÂMICO

Os tijolos ou blocos cerâmicos vêm sendo utilizados desde a antiguidade por ser um material fundamental na construção civil, dado que a sua principal matéria prima (argila) é proveniente da natureza e com, a priori, grande disponibilidade. A argila é um material natural, terroso, de granulometria fina, e suscetível à moldagem por apresentar consistência plástica em presença de certa quantidade de água, pode apresentar características como composição química e mineralógica, cor e plasticidade diferentes em função do processo de formação e de fatores de alteração durante sua consolidação, as características química e mineralógica se inter-relacionam e influenciam as propriedades cerâmicas, produtos finais da indústria (REIS, 2014). Os blocos e tijolos cerâmicos são elementos essenciais na construção de alvenarias, podendo ser de vedação ou estrutural. Os blocos de vedação são componentes com furos horizontais, utilizados para construção de paredes de vedação com funções de separar ambientes, suportar apenas o seu próprio peso e cargas de ocupação. Não é participante da estrutura, ou seja, não distribui cargas. Já os blocos estruturais são componentes de alvenaria que possui furos ou vazados prismáticos, perpendiculares às suas faces. São produzidos para serem assentados com

furos ou vazados na vertical, com características e propriedades específicas para alvenaria estrutural, podendo inclusive substituir pilares (ABNT NBR 15270-1:2017)

São produzidos pela matéria prima da argila e queimados a elevadas temperaturas. O processo industrial do bloco cerâmico vermelho envolve diversas fases de processamento, tais como coleta da matéria prima em jazidas (argila), preparação, mistura, secagem e queima, até obtenção dos produtos finais, podendo cada etapa influenciar decisivamente na etapa seguinte.

Os processos de fabricação das peças proporcionam resistência aos carregamentos usuais de construção e às tensões devido às condições de exposição ambiental (SOUZA, 2018). No entanto, segundo (OLIVEIRA, 2016), as peças cerâmicas com defeitos, tais como por queima inadequada, cor desuniforme, trincas e quebras, dada a incompatibilidade para a comercialização, necessitam ser descartadas pelas indústrias fabricantes.

Os blocos cerâmicos, juntamente com outros materiais dessa tipologia, podem apresentar características que contribuam para a melhoria das propriedades mecânicas de concretos e argamassas produzidos com o agregado miúdo reciclado. Nesse sentido, e com base nos resultados apresentados no trabalho desenvolvido por LEITE (2002) observou-se que o material cerâmico finamente moído poderia contribuir com alguma reatividade pozolânica, melhorando o desempenho mecânico dos concretos em idades mais avançadas.

Um material com propriedades potencialmente similares aos sedimentos calcinados e ainda não aproveitados como pozolana no país refere-se aos resíduos da cerâmica vermelha (GARCIA, 2015).

Na cadeia produtiva da construção civil, o segmento da fabricação de blocos de cerâmica vermelha gera resíduos após a queima, os quais usualmente não têm destinação adequada, perdendo a sustentabilidade nesse processo.

Os resíduos dos blocos cerâmicos são classificados conforme Resolução Conama N°307/2002 como resíduo *Classe A* definidos como componentes cerâmicos oriundos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações. Mesmo com o uso de alvenarias racionalizadas e munidos de Planos de Gerenciamento de Resíduos, o desperdício desse material é enorme, além de geralmente possuir o aterro como destinação final, sem que haja chance de reaproveitamento do mesmo.

Segundo a ABNT: NBR 15116 (2004) o agregado reciclado é definido como “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura”.

Os resíduos dos blocos e tijolos cerâmicos são amplamente descartados no meio ambiente, segundo (FONSECA, 2006) a quantidade gerada desses resíduos é significativa e existe potencial para sua reciclagem na construção civil, devendo tal possibilidade ser investigada.

O elevado custo da areia natural, causado principalmente pela dificuldade de sua obtenção e longas distâncias de transporte, abre espaço para a entrada da areia reciclada no mercado de agregado miúdo para a construção civil, como uma alternativa de se utilizar um material de qualidade compatível, porém, de custo bem inferior (MIRANDA, 2000).

Os três principais tipos de materiais derivados da maioria do RCD são, concreto triturado, alvenaria triturada e resíduos mistos de demolição. Após esmagamento e beneficiamento em reciclagem, os agregados resultantes podem ser atribuídos a uma a quatro tipos, agregados de concreto reciclado, agregado de alvenaria reciclado, agregados reciclados mistos, agregados reciclados de construção e demolição (SILVA, 2014).

Pinho (2013), em sua pesquisa desenvolvida em conjunto com a Comunidade da Construção do Recife/PE, a partir do Programa de Indicadores de Desempenho - PROGRIDE, relata que as perdas de blocos cerâmicos variaram de 0,83% a 15 %, tomando como referência 8 (oito) obras de edifício num período de 3 meses de coleta de dados. Dentro deste contexto, esta autora verificou que o custo das perdas de blocos/tijolos e argamassa de assentamento da alvenaria de vedação pode alcançar até 0,89% do custo total da obra.

O consumo elevado de agregados para produção de concretos e a respectiva quantidade considerada de resíduos gerados impactam de forma significativa o meio ambiente, por isso o setor da construção civil, precisa de medidas alternativas que minimizem esses impactos e viabilizem soluções mais sustentáveis.

O descarte desses materiais cerâmicos quando realizados de forma incorreta, ou com a simples deposição na natureza, acarreta diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. Com o intuito de se evitar o acúmulo de resíduos diversos no meio ambiente, há uma tendência mundial de utilização de agregados reciclados para produção de artefatos de cimento, propiciando, assim, o desenvolvimento sustentável. também pode promover outros benefícios, dentre eles a redução no consumo de recursos naturais não renováveis.

No caso da utilização de resíduos de tijolos e blocos cerâmicos substituindo os agregados convencionais as propriedades físicas e mecânicas resultantes da composição do traço são influenciadas pelos tipos das peças das quais se derivam os agregados (THOMAS, 2013). O concreto elaborado com agregados cerâmicos reciclados pode ser utilizado na produção de peças pré-fabricadas destinadas às construções de alvenarias, bem como em outras aplicações como é o caso de blocos fabricados para pavimentação.

Na indústria da construção civil sabe-se que o reaproveitamento dos materiais pode gerar inúmeros benefícios, tais como: minimização no consumo de recursos naturais, redução do consumo de energia durante o processo de produção e a diminuição da emissão de gás carbônico, além da redução do uso de áreas para destinação destes resíduos, os chamados, aterros.

Atualmente a área dos materiais cerâmicos têm sido amplamente estudada a fim de obtenção de novos materiais a partir de matérias-primas alternativas. Visando aproveitar o potencial dos resíduos dos tijolos e blocos cerâmicos, descartado em quantidade considerável, tanto nos canteiros de obras, quanto nas olarias onde são produzidos, este trabalho teve como objetivo confeccionar blocos maciços para alvenaria de vedação, podendo alcançar outras aplicabilidades.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para o alcance proposto neste estudo. A pesquisa consiste na confecção de um bloco maciço produzido a partir da substituição parcial e total do agregado miúdo (areia) pelo resíduo do bloco cerâmico vermelho (RBC).

A metodologia aplicada neste trabalho, possibilita a fabricação das peças em diversas fôrmas, propiciando sua confecção sem a necessidade de equipamentos específicos. O uso das fôrmas plásticas, por exemplo, tem por finalidade viabilizar uma alternativa às pequenas empresas de artefatos de cimento e também às pequenas prefeituras, que não dispõem de recursos para a aquisição de fôrmas mais elaboradas.

O estudo de um material mais homogêneo, material reciclado composto por basicamente um único material, amplia as possibilidades de aplicação do resíduo por permitir um melhor entendimento das propriedades do material reciclado.

Os materiais a serem utilizados para avaliação da viabilidade do resíduo do tijolo cerâmico em blocos maciços, serão Cimento; Pozolana Metacaulim; Areia; Agregado Miúdo reciclado (RBC); e Água.

Neste experimento não foram avaliadas as características do cimento, pois o objetivo principal foi à aferição do aproveitamento do RBC na execução do bloco. O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland composto (CP – II – F – 40).

O Metacaulim aplicado foi no intuito de enriquecer o compósito, tratando-se de uma pozolana. O agregado miúdo utilizado foi a areia natural grossa disposta no Laboratório de Materiais do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE).

Para execução do ensaio utilizou-se água da Companhia Pernambucana de Saneamento.

Tendo em vista os objetivos estabelecidos, foi desenvolvida a metodologia de pesquisa definindo-se a sequência de etapas para realização deste trabalho. O procedimento experimental foi dividido nas etapas seguintes.

#### 3.1 PROPRIEDADES REQUERIDAS

A norma brasileira que atualmente estabelece requisitos e métodos de ensaio para blocos e tijolos cerâmicos é a NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria- Parte 1: Requisitos (ABNT, 2017) e a NBR 15270-2: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria- Parte 2: Métodos de ensaios (ABNT, 2017). A parte 1 tem como objetivo

especificar os requisitos dimensionais, propriedades físicas e mecânicas de blocos e tijolos cerâmicos a serem utilizados em obras de alvenaria com ou sem função estrutural e executadas de forma racionalizada ou não, e a parte 2, especifica os métodos para a execução dos ensaios dos blocos e tijolos cerâmicos estruturais e de vedação.

As propriedades avaliadas nesta pesquisa foram a Resistência à compressão, Absorção de Água e Módulo de Elasticidade.

Conforme normativa, a resistência característica à compressão deve ser determinada para atender aos valores mínimos de 1,5MPa, 3MPa, 4MPa para as categorias VED15, VED30 e VED40 aos 28 dias de idade, conforme Tabela 2. A absorção de água, segundo a norma, deve variar entre 8% a 25% de índice.

Tabela 2. Requisitos NBR 15270-1

<b>Classe</b>	<b>Resistência à Compressão mínima (MPa)</b>	<b>Índice de Absorção de Água (%)</b>
<b>VED15</b>	1,5	8 a 25
<b>VED30</b>	3	
<b>VED40</b>	4	

Fonte: Autora (2022)

### 3.2 COLETA DOS RESÍDUOS DO BLOCO CERÂMICO

Os resíduos foram coletados em uma obra no município do Recife. A coleta de dados e de amostras do resíduo do bloco cerâmico, em construções devidamente licenciadas pelo órgão municipal competente, mediante autorização da empresa geradora responsável.

Os resíduos foram acondicionados adequadamente e foram encaminhados ao laboratório de Tecnologia das Construções do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE). Posteriormente, estes foram encaminhados ao laboratório da TECOMAT ENGENHARIA LTDA, devido à disponibilidade, onde foram realizados todos os ensaios necessários em atendimento aos objetivos estabelecidos, conforme as Normas Brasileiras vigentes.

### 3.3 BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO (MOAGEM)

Para a caracterização do resíduo cerâmico e possível utilização como substituto do agregado miúdo, é necessário que o mesmo sofra um processo de cominuição e moagem visando à obtenção de uma finura adequada para tais fins.

O beneficiamento granulométrico do RBC passou por uma sequência de fragmentação, o material foi cominuído em cacos de tamanho aproximadamente de 5 cm (Figura 3). Todos os resíduos reciclados tiveram beneficiamento, onde foram selecionados, em seguida, quebrados à mão com auxílio de uma marreta, deixando o resíduo com diâmetro menor.

Posteriormente, adicionou-se o agregado aos poucos no agrupamento das peneiras, até chegar o mais próximo possível do agregado convencional (Figura 4), após essa tritura, os resíduos foram passados na peneira 4,8 mm e ficaram retidos na 0,3mm, para deixar todos na granulometria de agregado miúdo (Figura 5).

Figura 5. RBC sendo triturados em menor diâmetro



Fonte: Autora (2022)

Figura 6. Peneiramento



Fonte: Autora (2022)

Figura 7. Granulometria do RBC



Fonte: Autora (2022)

## 3.4 PRODUÇÃO DOS BLOCOS

### 3.4.1 Processo

Inicialmente foram pesados todos os materiais com a quantidade especificada na Tabela 2 para os referidos traços, realizando 6 corpos de prova por dosagem. Em seguida, preparou-se mecanicamente a mistura dos agregados com cimento e auxílio da betoneira, a fim de deixar a mistura homogênea, após isso, sendo incorporada aos poucos a água, até formar uma massa. Utilizou-se corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e a idade de referência para o ensaio de 28 dias. Os corpos de prova foram moldados seguindo os procedimentos de cura conforme diretrizes da NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2013).

### 3.4.2 Dosagem

Para fins de referência, o primeiro traço executado foi o da família denominada F1, na qual não possui substituição de agregado miúdo, utilizou-se 100% de areia, e este servirá de parâmetro para a avaliação das demais famílias após a substituição da areia natural pelo RBC.

Com base em pesquisas bibliográficas, com objetivo de determinar uma relação para uma argamassa nem plástica nem seca, adotou-se um traço padrão de 1:6, com relação água/cimento de 1,5 e 15% de aditivo da pozolana metacaulim, sendo esta adição em determinadas famílias (F2 e F3). O teor de substituição ideal de cimento por metacaulim foi 15%, no intuito de mensurar o quão pode aperfeiçoar os resultados mecânicos e os relacionados à durabilidade (MOTA, 2015). Concretos e argamassas com adição de metacaulim tem seu módulo de elasticidade aumentado em até 15%, pois as reações pozolânicas refinam o teor de porosidade, tornando a matriz mais rígida (LACERDA; HELENE, 2005).

Nos traços subsequentes foram feitas as substituições do agregado natural pelo reciclado, até atingir 100% de substituição. Os traços terão substituição parcial e total, conforme Tabela 1 abaixo.

Tabela 3. Traços utilizados

Famílias	Cimento	Metacaulim	Areia	Resíduo Bloco Cerâmico (RBC)	Água/Cimento
<b>Família 1</b> (100 % areia) – Referência	1	-	6	0	1,5
<b>Família 2*</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	1	0,15	3	3	1,5
<b>Família 3*</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	1	0,15	0	6	1,5
<b>Família 4**</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	1	-	3	3	1,5
<b>Família 5**</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	1	-	0	6	1,5
Família 1 (Referência) – Sem adição de Metacaulim					
* Família 2 e 3 – Com adição de Metacaulim					
** Família 4 e 5 – Sem adição de Metacaulim					

Fonte: Autora (2022)

A relação água/cimento foi mantida para fins de análise comparativa. De acordo com a tabela acima, foi possível perceber que, a família F1 contém 100% de areia natural, já nas famílias F2 e F3 (Figura 7), houve a substituição de 50% e 100% do agregado miúdo com adição de metacaulim. As famílias F4 e F5 (Figura 9), diferem das F2 e F3 por não possuírem a adição da pozolana (metacaulim).

Figura 8. Família F2 e F3



Fonte: Autora (2022)

Figura 9. Família F4 e F5



Fonte: Autora (2022)

### 3.4.3 Determinação do Índice de Consistência

A determinação do índice de consistência foi realizada com base na norma NBR 7215 (ABNT 2019). O procedimento foi feito após a preparação da argamassa. Antes de ser efetuada a mistura, lubrificar ligeiramente a mesa do aparelho de consistência com desmoldante e colocar sobre ela, bem centrada, a fôrma troncocônica, com sua base maior apoiada na mesa. Durante a moldagem, deve manter a fôrma na mesma posição, enquanto o operador, com o auxílio da espátula, deve colocar a argamassa na fôrma, em três camadas da mesma altura, e, com soquete normal, deve aplicar 15, 10 e 5 golpes uniformes e homoganeamente distribuídos, respectivamente, nas primeira, segunda e terceira camadas. Terminada esta operação, remover o material que ultrapassar a borda superior e alisar o topo com a régua, tomando o cuidado de limpar a mesa em volta do molde, sem remover o desmoldante. Terminado o enchimento, retirar imediatamente a fôrma, levantando-a verticalmente, com cuidado. Em seguida, deve-se mover a manivela do aparelho para medir a consistência, fazendo com que a mesa caia 30 vezes em aproximadamente 30 s, para provocar o abatimento do tronco de cone de argamassa.

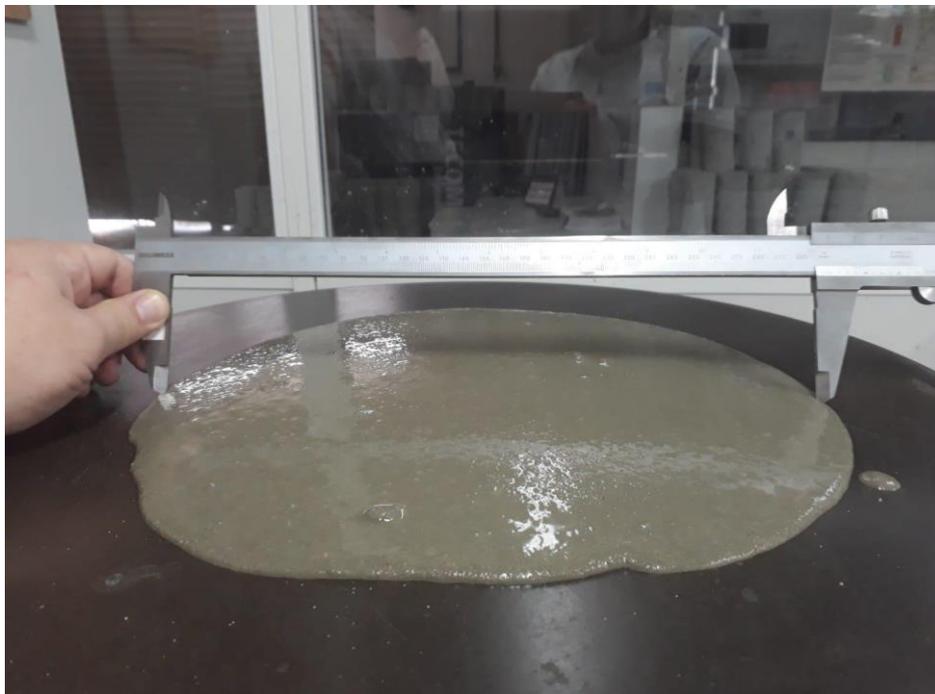
Ao final é mensurado o índice de consistência, esta medição é feita do diâmetro da base do tronco de cone de argamassa, após o abatimento, é feita com auxílio do paquímetro e é expressa em milímetros. O índice de consistência da argamassa é a média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais. (ABNT, 2019)

Tabela 4. Índices de Consistência

Famílias	Índice de Consistência
<b>Família 1</b> (100 % areia) – Referência	312mm
<b>Família 2*</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	189mm
<b>Família 3*</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	145mm
<b>Família 4**</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	218mm
<b>Família 5**</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	168mm
Família 1 (Referência) – Sem adição de Metacaulim	
* Família 2 e 3 – Com adição de Metacaulim	
** Família 4 e 5 – Sem adição de Metacaulim	

Fonte: Autora (2022)

Figura 10. Ensaio de consistência – Família F1



Fonte: Autora (2022)

Figura 11. Ensaio de consistência – Família F2



Fonte: Autora (2022)

Figura 12. Ensaio de consistência – Família F3



Fonte: Autora (2022)

### 3.4.4 Moldagem dos Corpos de Prova

Após a definição do traço padrão, posteriormente preparou-se a moldagem dos corpos de prova utilizando a dosagem descrita na Tabela 2. Os corpos de prova representam o comportamento global da estrutura quando ela estiver em uso, ou seja, sob a ação de todos os carregamentos considerados no dimensionamento.

Foram preenchidas duas camadas, sendo cada uma delas adensadas a partir da aplicação de 12 golpes com haste metálica. Foram confeccionados 06 corpos de prova cilíndricos por família, totalizando em 30 unidades.

Figura 13. Corpos de prova da Família F2



Fonte: Autora (2022)

### 3.5 ENSAIO DAS PROPRIEDADES

Os ensaios realizados nos blocos maciços para aplicação proposta, foram os de resistência à compressão, absorção de água, e módulo de elasticidade, segundo os preceitos das normas NBR 9781 (ABNT, 2013), NBR 15270-1 (2017), NBR 5739 (ABNT 2007) respectivamente.

Tendo em vista a dinâmica dificultosa imposta pela pandemia do CoronaVírus para realização dos ensaios no IFPE (Instituto Federal de Pernambuco), a TECOMAT ENGENHARIA LTDA cedeu seu espaço, cooperando tecnicamente para realização dos ensaios de Resistência à Compressão, Absorção de Água e Módulo de Elasticidade.

#### 3.5.1 Resistência à Compressão

A metodologia para determinação da Resistência à Compressão foi realizada com base na norma NBR 5739 (ABNT 2007).

Segundo a NBR 15270-1, a resistência dos blocos de vedação devem ser de no mínimo de 1,5 MPa para não propiciar a diminuição de resistência da alvenaria e conseqüentemente aumento da possibilidade de fissuras ou rachaduras.

No Laboratório da TECOMAT ENGENHARIA LTDA, utilizou-se a prensa da marca EMIC, máquina universal servo controlada com capacidade de 600KN para realização dos ensaios de tração e compressão.

Tendo em vista que a ABNT NBR 15270-1:2017 especifica para tijolos cerâmicos maciços de vedação a resistência mínima de compressão ( $f_b$ ) igual à 1,5MPa para classe (VED 15), 3,0MPa para a Classe (VED30) e 4,0MPa para a classe (VED40), todas sem fins estruturais, verificou-se que, avaliando exclusivamente a propriedade da resistência à compressão, os blocos ensaiados apresentaram resistência à compressão com indicativo para vedação, superior às exigências mínimas previstas.

Figura 14. Ensaio de Resistência à compressão



Fonte: Autora (2022)

### 3.5.2 Absorção de Água

A absorção de água tem influência direta sobre o desempenho dos materiais, possibilitando observar o comportamento em termos de aplicação prática, haja vista que esta propriedade está intimamente relacionada com a porosidade, possuindo influência significativa na vida útil do produto.

A absorção de água depende da disposição dos poros, que conseqüentemente influencia na resistência dos blocos. A norma NBR 15270-1/2017, estabelece um limite variando de 8 a 25% de índice de absorção de água.

Além disto, a absorção da água, em teores acima ou abaixo do especificado por norma, compromete a aderência da argamassa aos blocos. Quando o índice de absorção do bloco cerâmico é baixo, a argamassa não consegue penetrar em seus poros, ou seja, não propicia a ancoragem dos produtos cimentícios hidratados na zona entre o bloco e a argamassa e com isto a aderência fica prejudicada (GOMES JÚNIOR, 2017).

Quando o índice de absorção excede o limite dos 25%, existem dois problemas, a maior porosidade do bloco, acarretando redução de resistência do mesmo (GOMES JÚNIOR, 2017) e a absorção excessiva da água contida na argamassa pelo bloco, sendo esta necessária para a formação dos produtos hidratados do cimento, impedindo, portanto, a aderência da argamassa ao substrato, provocando destacamento da mesma. Os corpos de prova passaram por um processo de saturação por imersão em água por 72 horas.

Concluídas as determinações da massa seca e massa úmida, foi calculado o índice de absorção pela diferença entre a massa úmida, pela massa seca, dividida pela massa seca e multiplicado por cem, conforme equação 1.

$$AA(\%) = (Mu - Ms) / Ms \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Figura 15. Corpos de prova na estufa



Fonte: Autora (2022)

Figura 16. Corpos de prova – Imersão 72h em água



Fonte: Autora (2022)

### 3.5.3 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica, que se relaciona com a deformação que o material sofre sob ação das tensões. O módulo de elasticidade ou módulo de Young é a razão de uma tensão aplicada sobre um corpo e a deformação nele verificada. A propriedade foi avaliada conforme a NBR 8522 (ABNT, 2017).

Figura 17. Ensaio do Módulo de Elasticidade



Fonte: Autora (2022)

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo e avaliação das propriedades físicas e mecânicas são de extrema valia, e possuem o intuito de avaliar e verificar sobre as características do material e sua aplicabilidade. Segundo a NBR 15270-1 classifica a resistência à compressão, a norma classifica dos tijolos maciços em VED15, cujos valores mínimos devem ser de 1,5MPa, VED30 é 3,0MPa, VED40 é 4,0 MPa, EST60 é 6,0MPa, EST80 é 8,0 MPa, EST100 é 10,0MPa, EST120 é 12,0MPa, EST140 é 14,0MPa, sendo VED de vedação e EST de estrutural.

A resistência à compressão simples é a propriedade mecânica primordial do presente trabalho, seguida dos testes de absorção de água e módulo de elasticidade. A discussão dos resultados dos testes de propriedades do bloco maciço propõe avaliar a influência das incorporações do RBC nas propriedades mecânicas e de durabilidade dos compósitos.

A Tabela 5 mostra as médias dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos. No que diz respeito à composição dos corpos de prova, quanto maior a concentração de RBC menor a resistência do material. Nesse caso, os resultados mostram que a adição de 50% de RBC ocorre um aumento maior na resistência a do material, com os valores de 13,4 e 8,4 MPa. Já adicionando RBC com 100% de substituição, observa-se uma diminuição da resistência comparado a substituição parcial, porém ainda dentro do que recomendado para tijolos de vedação, classe VED15 a VED40.

É possível perceber que o resíduo cerâmico aumentou a resistência mecânica do bloco, e em todas as hipóteses levantadas demonstrou-se que este parâmetro superou a família de referência, denominada F1. Esse aumento se deu em menor proporção nas famílias com 100% do resíduo.

Tabela 5. Resistência Média à Compressão dos blocos ensaiados

<b>Famílias</b>	<b>Resistência à Compressão (28 dias) – (MPa)</b>
<b>Família 1</b> (100 % areia) – Referência	6,8
<b>Família 2*</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	13,4
<b>Família 3*</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	7
<b>Família 4**</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	8,4
<b>Família 5**</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	7,3
Família 1 (Referência) – Sem adição de Metacaulim	
* Família 2 e 3 – Com adição de Metacaulim	
** Família 4 e 5 – Sem adição de Metacaulim	

Fonte: Autora (2022)

Tabela 6. Absorção de Água Média dos blocos ensaiados

<b>Famílias</b>	<b>Absorção de água (%)</b>
<b>Família 1</b> (100 % areia) – Referência	15,8
<b>Família 2*</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	17,5
<b>Família 3*</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	20,25
<b>Família 4**</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	11,7
<b>Família 5**</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	14
Família 1 (Referência) – Sem adição de Metacaulim	
* Família 2 e 3 – Com adição de Metacaulim	
** Família 4 e 5 – Sem adição de Metacaulim	

Fonte: Autora (2022)

Para os ensaios de Absorção de Água (Tabela 6), é possível inferir que a substituição total (100%) do RBC pela areia aumentou este índice, demonstrando que o material argiloso, contribuiu para este resultado previamente esperado. Associa-se também a queda de resistência mecânica para esses teores maiores de incorporação. A norma NBR 15270-1/2017, estabelece um limite variando de 8 a 25% de índice de absorção de água, portanto levando-se em consideração, todos os corpos de prova variaram dentro da faixa estabelecida.

Para o ensaio de módulo de elasticidade, é possível perceber na Tabela 7, que este parâmetro acompanhou a resistência à compressão, conforme esperado.

Tabela 7. Módulo de elasticidade Média dos blocos ensaiados

<b>Famílias</b>	<b>Módulo de Elasticidade (Gpa)</b>
<b>Família 1</b> (100 % areia) – Referência	13,1
<b>Família 2*</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	14,6
<b>Família 3*</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	9,1
<b>Família 4**</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	10,2
<b>Família 5**</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	8,6
Família 1 (Referência) – Sem adição de Metacaulim	
* Família 2 e 3 – Com adição de Metacaulim	
** Família 4 e 5 – Sem adição de Metacaulim	

Fonte: Autora (2022)

Pode-se dizer que, apesar dos resultados terem sido avaliados aos 28 dias, levando em consideração o prazo para defesa entre os ensaios laboratoriais e escrita final, a investigação aos 28 dias de cura, ainda sim, demonstrou-se muito favorável para a proposta, na qual, em prazos mais longos seria possível alcançar resultados ainda mais satisfatórios, de maneira que, as reações pozolânicas se comportariam com efeito mais favorável.

De posse dos resultados e analisando aos 28 dias, a Família F2, com 50% de substituição de areia pelo agregado miúdo reciclado (resíduo do bloco cerâmico) e a pozolana Metacaulim, se apresenta como a mais favorável para a aplicabilidade proposta. Portanto, é possível indicar uma matriz cimentícia argamassada com 50% de substituição de agregado miúdo convencional pelo resíduo do bloco cerâmico, encontrado em canteiros de obras e/ou olarias.

Pode-se inferir que o teor de resíduo da Família F3 (100%), seja desfavorável devido à elevada superfície específica do agregado, demandando, por conseguinte, maior teor de aglomerante.

Tabela 8. Resultados

<b>RESULTADOS - RESUMO</b>			
Famílias	Resistência à Compressão (28 dias) - Mpa	Módulo de elasticidade (Gpa)	Absorção de água(%)
<b>Família 1</b> (100 % areia) – Referência	6,8	13,1	15,8
<b>Família 2*</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	13,4	14,6	17,5
<b>Família 3*</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	7	9,1	20,25
<b>Família 4**</b> (50% areia / 50% resíduo cerâmica vermelha)	8,4	10,2	11,7
<b>Família 5**</b> (100% resíduo cerâmica vermelha)	7,3	8,6	14
Família 1 (Referência) – Sem adição de Metacaulim			
* Família 2 e 3 – Com adição de Metacaulim			
** Família 4 e 5 – Sem adição de Metacaulim			

Fonte: Autora (2022)

Analisando o trabalho dentro da metodologia avaliada pode-se dizer que, sob as mesmas hipóteses levadas em consideração, a tendência é que utilizando o RBC na incorporação de um tijolo sustentável, todas as composições apresentaram resistência à compressão superior a 4 MPa, sendo desta forma possivelmente indicada para a produção de tijolos maciços. Os resultados indicam que é possível a utilização do RBC com este resíduo para a produção de blocos maciços para vedação, obtendo-se um material cerâmico com boas propriedades físicas. A reutilização do RBC, diminui o consumo de argila, e o impacto ambiental devido ao imenso volume de RBC descartado inadequadamente. Ao utilizar resíduos como matéria-prima em substituição aos materiais tradicionais, é necessário que esse insumo apresente padrões compatíveis com a sua utilização, nos casos em que o material reciclado e o natural têm o mesmo custo, o diferencial será a qualidade do produto, de forma a garantir que o produto é ambientalmente correto (CARNEIRO, 2001).

Ademais, é possível verificar também, no que concerne às aplicações dos blocos para alvenarias, verificou-se pelas resistências à compressão que todos os blocos produzidos para esta pesquisa podem ser empregados como elemento de vedação, uma vez que todos os traços superaram a resistência mínima da classe VED 40 (ABNT NBR 15270-1:2017).

A partir da dosagem da Família F2 (mais favorável), preparou-se o bloco maciço numa fôrma com medidas 20cm x 10cm x 5cm, como é possível observar na Figura 18. Este bloco foi executado no laboratório do IFPE com caráter experimental, a partir do estudo realizado considera-se este um tijolo sustentável, com pecuniária versatilidade.

Figura 18. Bloco maciço (Família F2)



Fonte: Autora (2022)

Diante dos resultados obtidos, considerando as mesmas hipóteses (materiais e processos) trabalhadas neste estudo, pode-se obter, com este traço, um bloco maciço para vedação sem fins estruturais de casas populares, escolas, edificações de pequeno porte, se tratando de um método simples de execução, e até mesmo na execução de contrapisos, calçadas, e /ou argamassas de elevação de alvenaria, com as possibilidades ínfimas de desdobramentos dessa pesquisa.

O aproveitamento dos agregados reciclados de tijolos cerâmicos na confecção de bloco maciço para alvenaria é uma boa alternativa para o aproveitamento dos resíduos, possibilitando menor consumo de agregados naturais e redução do impacto ambiental, muitas vezes causado pela deposição inadequada desses materiais.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os dados atuais, é possível inferir déficits no reaproveitamento de resíduos sólidos, mesmo após mais de uma década promulgada a Lei Federal Nº 12.305 (Política Nacional de Resíduos Sólidos). A correta gestão de resíduos da construção civil abre caminhos para incorporação de novos materiais sustentáveis no setor da construção civil.

As empresas são capazes de fazer o manejo correto do resíduo com a implementação de um sistema de gestão eficaz que é baseado em programas específicos e treinamentos. A reciclagem de RCD como agregado para ser misturado no material é a alternativa mais difundida e aceita no meio técnico por possuir estudos mais consolidados. Os resíduos de construção, apresentam grande potencial para sua reutilização, gerando novos materiais ou agregados, também sendo aplicados na composição de materiais já existentes para melhorar sua qualidade, durabilidade ou resistência. A reutilização feita conforme as normas, gera grande benefício ao meio ambiente, diminuindo a quantidade de resíduos que seriam descartados de maneira incorreta que iriam parar na natureza ou até mesmo na zona urbana.

Como fundamentação teórica observamos a Resolução CONAMA nº 307/2002 e algumas normas ABNT, como por exemplos, a NBR 15270-1/2005, que trata da terminologia e requisitos de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, a NBR 5738/20105 que trata dos procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova, e ainda a ABNT NBR 5739/2018 que trata dos ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Com relação à metodologia, o nosso bloco alternativo é obtido a partir de uma mistura de cimento, areia média, RBC e água, que passa por um processo de moldagem e cura de 28 dias.

Na literatura é possível observar diversos estudos sobre o aproveitamento dos resíduos da construção civil, e a viabilidade de contribuir para o futuro sustentável, aproveitando os resíduos e reduzindo gastos na compra de novos insumos.

O aproveitamento dos resíduos da construção civil é viável e contribui para o futuro sustentável do mundo, aproveitar os resíduos na própria obra reduz gastos na compra de novos insumos, reduz o volume de resíduos e contribui para a produção de insumos mais baratos. A sustentabilidade, tão almejada pela sociedade atual, certamente só será atingida se a construção civil, umas das principais, consumidora de matéria-prima e geradora de resíduos, tornar-se sustentável, a correta gestão dos seus resíduos já é um importante passo para a realização disto. A análise de materiais para serem utilizados em processos de reuso, além da escolha daqueles que sejam adequados sob a ótica de tecnologias existentes ou em desenvolvimento para o cumprimento das especificações técnicas, também determina a potencialização e agregação de

valor ao material reaproveitado.

Conclui-se que o bloco/tijolo cerâmico alternativo produzido com o reaproveitamento de RBC, adicionando 50% de RBC e a pozolana Metacaulim, apresentou com boas características, sendo desta forma a composição mais indicada para a produção dos blocos e tijolos sustentáveis. Apesar do melhor comportamento da Família F2, é válido ressaltar que, todas as formulações tenham alcançado a resistência mínima desejada para fabricação de peças conforme a norma NBR 15270-1 (ABNT, 2017).

Pode-se destacar também a vantagem é que produção desse bloco alternativo não se faz necessário o uso de fornos, nem é necessário uso de equipamento que demande energia para triturar o resíduo utilizado, tornando o processo ainda mais sustentável e menos oneroso.

Os resultados deste trabalho mostraram que o resíduo pode ser utilizado como matéria-prima alternativa, pois influencia positivamente na resistência mecânica.

Diante dos resultados expostos na presente pesquisa, conclui-se que, tecnicamente, há um grande potencial para a reutilização de RBC na produção de blocos maciços alternativos, como também na aplicabilidade do traço estudado para pavimentações internas em escolas, edificações de pequeno porte, se tratando de um método simples de execução, e até mesmo na execução de contrapisos, e /ou argamassas de elevação de alvenaria, tornando-se sua utilização real para uma destinação de forma sustentável desses resíduos.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como mencionado anteriormente, o levantamento das informações, bem como as análises laboratoriais foram etapas difíceis para realização deste trabalho, diante do cenário imposto pela pandemia do CoronaVírus.

Diante do fato, recomenda-se para trabalhos futuros o aperfeiçoamento desta pesquisa com um leque de possibilidades, é possível destacar o estudo do desenvolvimento dos tijolos sustentáveis através de outras dosagens, a fim de comparar os resultados, bem como analisar o custo e realizar avaliação da viabilidade financeira da fabricação do referido tijolo sustentável. Sugere-se adicionalmente, a análise da possibilidade de incorporação não apenas resíduos de tijolo cerâmico, como também resíduo de construção e demolição, cabendo integrar o agregado graúdo ao bloco alternativo, por fim, o desenvolvimento dos tijolos sustentáveis a partir de prensas (produção em larga escala).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2021**. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 12 de maio de 2021

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2018. **Panorama 2018**. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box\\_popclock.php](https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box_popclock.php). Acesso em: 09 de fevereiro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15270-1 **Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria estrutural e de vedação e para alvenaria racionalizada: Requisitos**, Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural**. Rio de Janeiro, 2004.

ABELPRE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2017.

ARAUJO, R. A. et al. **Avaliação da atividade pozolânica do resíduo de cerâmica vermelha por meio de métodos mecânicos e físico-químicos**. Revista Cerâmica, v. 65, p. 461-469, 2019.

ALCANTARA. **Blocos intertravados coloridos para pavimentação com incorporação de resíduos de cerâmica vermelha em prol da redução de pigmentos**, 2015. (Dissertação de Mestrado).

A.L. CASTRO, R.F.C. Santos, K.M. Goncalves, V.A. Quarcioni. **Caracterização de cimentos compostos com resíduo da indústria de cerâmica vermelha**. Revista Cerâmica, v.63, p. 65-76, (2017).

GOMES JÚNIOR, F.C.N.; CARVALHO, Y. N. P.; LÊU, A. A. M.; LEANDRO, F. S. **Conferência da Qualidade dos Blocos Cerâmicos Vazados para Alvenaria de Vedação**

**produzidos pelas fábricas da Cidade do Crato - CE.** Artigo publicado: Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas, Recife-PE, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 307, de 05 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002. Seção 1.

BAHIENSE, A.V. et al. **Utilização do planejamento experimental na incorporação do resíduo da indústria cerâmica vermelha em argamassas para obtenção da capacidade de retenção de água.** Revista Cerâmica. v. 54, p. 395-403, 2008.

CASTRO, C.X.DE. **Gestão de Resíduos na Construção Civil.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte. 2012.

CAMARGO, A. Minas de entulho. **Revista de Tecnologia da Construção - Tèchne**, ano 3, nº 15, p. 15-19, 1995.

CARNEIRO, A.P.; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção.** Projeto entulho bom. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312 p. 1ª edição. 2001.

E. GARCIA, M. Cabral Jr., V.A. Quarcioni, F.F. Chotoli. **Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais pólos ceramistas do Estado de S. Paulo.** Revista Cerâmica, v. 61, p. 251-258, 2015.

FERNANDEZ, J. A. B. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil.** Brasília: IPEA. 2012.

KARPINSK, L. A. et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental.** Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

LEITE, Mônica, DAL MOLIN, Denise; **Avaliação da Atividade Pozolânica do Material Cerâmico Presente no Agregado Reciclado de Resíduo de C&D.** Sitientibus, Feira de Santana, n.26, p.111-130, jan./jun. 2002.

LACERDA, C. S.; HELENE, P. R. L. **Estudo da influência da substituição de cimento Portland por metacaulim em concretos.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

LACÔRTE, P.M.R. **Aproveitamento de resíduos na construção civil**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte. 2013.

LEI FEDERAL Nº 12.305 DE 02 DE AGOSTO DE 2010. **Política Nacional dos Resíduos Sólidos**, 2010.

SILVA, M. B. DE. L.E. **Novos Materiais à Base de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Resíduos de Produção de Cal (RPC) para Uso na Construção Civil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2014.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000. 172p. (Dissertação de Mestrado).

MOTA, João Manoel de Freitas. **Reforço de Alvenaria Resistente com Argamassa Armada com Adição de Metacaulim**. UFPE, 2015.

REIS, A. S. **Caracterização e avaliação das propriedades cerâmicas de argila utilizada em cerâmica estrutural**. IFES-Campus Colatina-ES. 2014.

PINHO, S.A.C. **Desenvolvimento de programa de indicadores de desempenho para tecnologias construtivas à base de cimento: perdas, consumo e produtividade**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de Pernambuco, Recife.

POSSA, A. S., ANTUNES, E. G. P. **Proposta de reutilização do resíduo de cerâmica vermelha proveniente da construção civil e demolições no município de Criciúma, SC**. Revista Tecnologia e Ambiente, v. 22, 2016.

OLIVEIRA, O.M., **Utilização de resíduos da indústria cerâmica para obtenção de novos produtos cerâmicos**, Tese de D.Sc., Escola Politécnica/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2016.

RONDON, O. C. **Atividade Pozolânica de Blocos Cerâmicos Produzidos em Laboratório**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2007. 260 p.

POON, C. S.; LAM, C. S. **Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks.** *Construction and Building Materials*, Hong Kong, n. 16, p.281-289. Elsevier, 2002

FONSECA, A.D.P. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural.** 2006. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia

THOMAS, C., SETIEN, J.A., POLANCO, P.A., et al., **Durability of recycled aggregate concrete.** *Construction and Building Materials*, v. 40, pp. 1054–1065, Mar. 2013.

ZORZETO, G. **Resíduos de Construção e Demolição - Problemas e Soluções.** Concreta Consultoria. 2017.