



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO EM ENGENHARIA CIVIL

SAMUEL DA COSTA SIQUEIRA

AVALIAÇÃO DO USO DE AGREGADOS RECICLADOS PARA A PRODUÇÃO DE
BLOCOS VAZADOS

CRATEÚS - CE

2022

SAMUEL DA COSTA SIQUEIRA

AVALIAÇÃO DO USO DE AGREGADOS RECICLADOS PARA A PRODUÇÃO DE
BLOCOS VAZADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dra. Heloína Nogueira da Costa.

CRATEÚS - CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

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

- S632a Siqueira, Samuel da Costa.
Avaliação do uso de agregados reciclados para a produção de blocos vazados / Samuel da Costa Siqueira. –
2022.
61 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús,
Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2022.
Orientação: Profª. Dra. Heloína Nogueira da Costa.
1. Agregados. 2. Resíduos. 3. Cobogó. I. Título.

CDD 620

SAMUEL DA COSTA SIQUEIRA

AVALIAÇÃO DO USO DE AGREGADOS RECICLADOS PARA A PRODUÇÃO DE
BLOCOS VAZADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Heloína Nogueira da Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Luana Viana Costa e Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Raimunda Moreira da Franca
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus e a Virgem Maria.

Aos meus pais, Suzana e Altanir.

As minhas irmãs, Samylyia e Sâmara.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser tudo em minha vida.

Aos meus pais Suzana e Altanir, por terem contribuído com toda minha formação pessoal e por terem possibilitado a conclusão da minha graduação, por serem motivo de inspiração e motivação. Sei o quanto foi difícil e reconheço todo o esforço que fizeram até aqui por mim, e sem vocês eu não seria nada. Amo vocês e tudo é por vocês.

Às minhas irmãs Samylyia e Sâmara, que sempre me apoiaram, incentivaram e me mantiveram no caminho até o fim. Eu amo vocês e serei eternamente grato por tudo que fizeram e ainda fazem por mim! Me espelho em vocês duas.

À Prof. Dra. Heloina Nogueira da Costa, pela excelente orientação e por ser um grande exemplo de profissional e pessoa. Muita gratidão por toda ajuda, considerações e apoio durante a fase de pesquisa e final da graduação.

Ao Leonardo por ter sido apoio, companheiro e, por estar sempre ao meu lado além de me incentivar durante toda a graduação. E, ao meu pequeno Enzo, que sempre foi meu consolo em todos os momentos!

Agradeço também, a Marília, a Zilda e a Vitória por serem apoio durante esse final de graduação, compartilhando de todos os momentos, alegrias, sofrimentos e, principalmente, crescimento profissional. Pessoas que quero levar para a vida toda.

A Marcelinha e Aryane, minha eterna gratidão por terem sido essenciais durante toda essa caminhada. Orgulho da participação de vocês nessa história. Obrigado por todo incentivo e por serem inspiração para mim e outras pessoas.

Maria e Alana, vocês têm um lugar especial nessa história! Obrigado por nunca terem deixado eu desistir. Me inspiro muito em vocês. Essa conquista é nossa!

E, também, quero agradecer a Isadora por sempre compartilhar dos mesmos sonhos e metas, além de sempre estar buscando crescimento juntos. Uma verdadeira parceira!

E, aos meus amigos por terem me apoiado e me sustentado em todo esse percurso na UFC. Em especial, gratidão a vocês: José Neto, Raquelzinha, Lucas, Samuel, Vanutti, Sandrinha, Karine, Luiz Henrique, Kesya, Jordênia, Leyanne, Jayne, Vinícius, Wenderson, Gustavo, Laiara, Eduardo, Henrique, Jandeilson, e todos aqueles que estão em meu coração. Como também, queria agradecer especialmente a Rafinha e Pe. Helton, que sempre me colocam em suas orações!

A todos do Laboratório de Materiais de Construção Civil por toda ajuda durante os ensaios para fundamentar essa pesquisa, incluindo o João Victor, cujo foi fundamental para a obtenção dos resultados.

Aos professores participantes da banca examinadora Profa. Dra. Luana Viana Costa e Silva e Prof. Dra. Raimunda Moreira da Franca pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A Universidade Federal do Ceará e professores por terem proporcionado a minha formação.

“O desejo não muda nada, mas uma decisão
pode mudar tudo.”

Caio Ribeiro

RESUMO

Com a constante evolução da Construção Civil, meios de reaproveitamento de variados resíduos vem expandindo-se para produção de artefatos para o setor, contribuindo com a diminuição da escassez de matéria-prima virgem, principalmente como agregados em matrizes cimentícias. Portanto, este trabalho visa avaliar a utilização de resíduos de construção e demolição e cinza pesada residual de usina termelétrica como agregados para a produção blocos vazados - Cobogó. Para isso, foram analisados quatro tipos de argamassas variando o tipo de agregado. Utilizou-se somente areia natural na argamassa de referência, enquanto as demais foram produzidas com resíduos de construção e demolição (RCD), com cinza pesada e com a composição dos dois resíduos. Foi realizado, no estado fresco, o ensaio da mesa de consistência e plasticidade (*Flow Table Test*). Além disso, no estado endurecido, foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção de água, índices de vazios e massa específica. Também foi feita uma análise comparativa qualitativa dos principais impactos ambientais da produção dos blocos produzidos. Conforme os resultados obtidos, a argamassa com agregado de RCD apresentou menor trabalhabilidade e a argamassa com agregado de cinza pesada apresentou característica autonivelante. A resistência à compressão das argamassas com os agregados residuais, medida em corpos de prova cúbicos, alcançou média entre 5,73 e 5,90 MPa. Os blocos produzidos também registraram resistências à compressão satisfatórias, entre 21,01 e 26,29 MPa. Contudo os blocos com agregado de RCD e com agregados mistos apresentaram altos índices de vazios e absorção de água. Além disso, de acordo com a análise comparativa dos principais impactos ambientais, comparando com o traço contendo agregado tradicional, os impactos gerados ao meio ambiente são reduzidos com a utilização de agregados reciclados. De modo geral, foi verificado que é viável a utilização de agregados obtidos a partir de RCD e de cinza pesada para a produção de blocos vazados.

Palavras-chave: Agregados. Resíduos. Cobogó.

ABSTRACT

With the constant evolution of Civil Construction, means of reuse of various residues has been expanding to the production of artifacts for the sector, contributing to reducing the scarcity of virgin raw materials, mainly as aggregates in cementitious matrices. Therefore, this work aims to evaluate the use of construction and demolition waste and residual heavy ash from thermoelectric plant as aggregates for the production of hollow blocks - Cobogó. For this, four types of mortars were analyzed, varying the type of aggregate. Only natural sand was used in the reference mortar, while the others were produced with construction and demolition waste (CDW), with heavy ash and with the composition of the two residues. The consistency and plasticity table test (Flow Table Test) was carried out in the fresh state. In addition, in the hardened state, tests were carried out on flexural tensile strength, compressive strength, water absorption, void ratios and specific mass. A qualitative comparative analysis of the main environmental impacts of the production of the produced blocks was also carried out. According to the results obtained, the mortar with CDW aggregate showed lower workability and the mortar with heavy ash aggregate showed a self-levelling characteristic. The compressive strength of mortars with residual aggregates, measured in cubic specimens, reached an average between 5.73 and 5.90 MPa. The produced blocks also registered satisfactory compressive strengths, between 21.01 and 26.29 MPa. However, the blocks with RCD aggregate and with mixed aggregates showed high levels of voids and water absorption. In addition, according to the comparative analysis of the main environmental impacts, compared to the mix containing traditional aggregate, the impacts generated on the environment are reduced with the use of recycled aggregates. In general, it was verified that it is feasible to use aggregates obtained from CDW and bottom ash for the production of hollow blocks.

Keywords: Aggregates. Waste. Cobogó

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Descrição das seções da pesquisa.....	21
Figura 2	- Disposição de RCD em céu aberto.....	23
Figura 3	- Esquema de geração de energia térmica e produção das cinzas.....	26
Figura 4	- Fluxograma da Metodologia de Pesquisa.....	29
Figura 5	- a) Resíduos de construção e demolição; b) Britador; c) Aspecto visual do material britado.....	30
Figura 6	- Aspecto visual da cinza pesada.....	30
Figura 7	- Aspecto visual da areia.....	30
Figura 8	- Aspecto visual do cimento.....	32
Figura 9	- a) Argamassadeira. b) Espalhamento da argamassa teste.....	34
Figura 10	- a) Mesa de consistência; b) Exemplo da medição realizadas com paquímetro para cada argamassa.....	35
Figura 11	- Corpos de provas prismáticos.....	35
Figura 12	- a) Rompimento para resistência à tração na flexão; b) corpo de prova rompido; c) Rompimento para resistência à compressão axial.....	36
Figura 13	- a) Corpos de provas – Cobogó; b) Fôrma do Bloco; c) Prensa adaptada para rompimento.....	36
Figura 14	- CP's submersos em água.....	37
Figura 15	- Argamassa obtida após levantamento do cone, a) T1; b) T2; c) T3; d) T4; Espalhamento após quedas, e) T1; f) T2; g) T3; h) T4.....	39
Figura 16	- Representação visual dos índices de vazios no Cobogó com agregados misturados.....	45
Figura 17	- Fluxograma dos processos de produção do bloco com areia.....	48
Figura 18	- Fluxograma dos processos de produção do bloco com RCD.....	48
Figura 19	- Fluxograma dos processos de produção do bloco com cinza pesada.....	49
Figura 20	- Fluxograma dos processos de produção do bloco com RCD e cinza pesada.....	49
Figura 21	- Fluxograma de Entradas, Saídas e Possíveis impactos dos blocos convencionais com areia.....	50

Figura 22 – Fluxograma de Entradas, Saídas e Possíveis impactos do bloco com resíduos.....	51
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Distribuição granulométrica dos agregados.....	31
Gráfico 2	- Média do diâmetro de espalhamento na mesa de consistência.....	38
Gráfico 3	- Resultados Resistência à Tração na Flexão – CP's.....	40
Gráfico 4	- Resultados Resistência à Compressão – CP's.....	41
Gráfico 5	- Resultados Resistência à Compressão – blocos.....	41
Gráfico 6	- Correlação das resistências entre os blocos e os corpos de prova.....	42
Gráfico 7	- Resultados Absorção de água – CP's.....	43
Gráfico 8	- Resultados Índices de vazios – CP's.....	44
Gráfico 9	- Resultados Massa específica – CP's.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Informações sobre a caracterização dos agregados.....	31
Tabela 2	- Caracterização do cimento.....	32
Tabela 3	- Traços utilizados e quantidade de agregado.....	33
Tabela 4	- Peso dos cobogós.....	46
Tabela 5	- Medidas do diâmetro de espalhamento na mesa de consistência.....	58
Tabela 6	- Resultados do ensaio de Resistência à Tração na Flexão.....	58
Tabela 7	- Resultados do ensaio de Resistência à Compressão – CP's.....	59
Tabela 8	- Resultados do ensaio de Resistência à Compressão – blocos.....	60
Tabela 9	- Resultados do ensaio de Absorção de água, Índices de vazios e massa específica.....	60
Tabela 10	- Peso dos cobogós.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de RCD
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza
CE	Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP's	Corpos de prova
CSI	Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento
ISO	Organização Internacional para Padronização
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU's	Resíduos Sólidos Urbanos

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
μm	Micrometro
n ^o	Número
g	Gramas
kg	Quilograma
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
kg/l	Quilograma por litro
a/c	Relação água/cimento
cm ³ /g	Centímetros cúbicos por grama
min	Minuto
MPa	Mega Pascal
°C	Grau Celsius
CO ₂	Dióxido de Carbono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	Contextualização e justificativa da pesquisa.....	19
1.2	Objetivos.....	20
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>20</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>21</i>
1.3	Delimitação.....	21
1.4	Estrutura da pesquisa.....	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1	Utilização de resíduos para a obtenção de produtos destinados à construção civil	22
2.1.1	<i>Resíduos.....</i>	<i>24</i>
2.1.1.1	Resíduos da Construção e Demolição.....	24
2.1.1.2	Cinza Pesada.....	25
2.1.2	<i>Bloco vazado decorativo.....</i>	<i>27</i>
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Materiais.....	29
3.1.1	<i>Agregados.....</i>	<i>29</i>
3.1.2	<i>Aglomerante.....</i>	<i>32</i>
3.2	Método de pesquisa.....	33
3.2.1	<i>Parâmetros de Mistura.....</i>	<i>33</i>
3.2.2	<i>Avaliação das propriedades das argamassas e dos blocos.....</i>	<i>34</i>
3.2.3	<i>Avaliação comparativa qualitativa dos principais impactos ambientais dos produtos (blocos).....</i>	<i>37</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	Estado Fresco.....	38
4.1.1	<i>Mesa de Consistência e Plasticidade (Flow Table Test).....</i>	<i>38</i>
4.2	Estado Endurecido.....	40
4.2.1	<i>Resistência à tração na flexão.....</i>	<i>40</i>
4.2.2	<i>Resistência à compressão axial.....</i>	<i>40</i>
4.2.3	<i>Absorção de água, índices de vazios e massa específica.....</i>	<i>43</i>
4.2.4	<i>Avaliação comparativa qualitativa dos principais impactos ambientais dos produtos (blocos).....</i>	<i>46</i>
5	CONCLUSÃO.....	52

5.1	Sugestões de trabalhos futuros.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS.....	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e justificativa da pesquisa

A engenharia civil sempre esteve presente entre as atividades mais importantes para o desenvolvimento humano. Esse fator é perceptível através do grande número de obras em todas as cidades. Além disso, como afirma John (2001), o indivíduo possui a necessidade de realizar suas atividades em um meio construído. No entanto, a indústria da construção civil é reconhecida por consumir grandes quantidades de matéria-prima e por ser uma das maiores produtoras de resíduos (BIGOLIN; FILHO, 2013; GNECCO; MATTANA, 2019).

Nesse contexto, com aliado à grande quantidade de material desperdiçado nas obras através da demolição, reformas e produção de materiais, assim como à má destinação dos mesmos, torna-se um grande problema ambiental, tendo em vista que cerca de 50% dos resíduos de uma cidade é originado das construções (MIRANDA *et al.*, 2009). Nesse contexto, a aplicação de medidas de gerenciamento adequado, priorizando a reutilização e reciclagem de resíduos é de grande relevância ambiental e para o setor da construção civil.

Os Resíduos de Construção Civil (RCC) passaram a poder fazer parte do processo construtivo de grandes empresas a partir da elaboração da resolução criada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA nº 307/2002. Tal resolução estabelece normas e diretrizes de gerenciamento dos RCC e, com isso, foi possível observar o surgimento de estudos de materiais da construção civil compostos por esses componentes, principalmente, utilizando um subgrupo desse material, que são os resíduos oriundos de construção e demolição (RCD). Entretanto, é válido salientar que ainda são poucos os estudos e conteúdos disponibilizados para o mercado da construção civil, que facilitem a implantação de produtos ecoeficientes (ZOTTI, 2022).

Em paralelo ao setor da construção civil, houve um aumento na demanda de queima de carvão mineral pulverizado para a geração de energia mecânica e elétrica. Com isso, o volume de resíduos originados desse processo aumentou proporcionalmente, sendo eles a cinza pesada e a cinza volante. Esses resíduos vêm ganhando espaço nos estudos científicos devido às suas propriedades cimentantes e pozolânicas, tornando-se um novo subproduto para criação de novos materiais de construção. Porém, ainda há um baixo reaproveitamento desses materiais no setor construtivo, principalmente das cinzas pesadas, sendo, no continente americano, de aproximadamente 30% (LEANDRO, 2005).

O bloco vazado decorativo foi criado por volta de 1920, o qual ficou conhecido como Cobogó, devido aos sobrenomes dos três criadores (Coimbra, Boeckman e Góis). Estes elementos são, constantemente, utilizados por arquitetos e engenheiros em projetos arquitetônicos como detalhamento para paredes e divisórias de ambientes internos, por ser um elemento de fácil acesso, por possibilitar iluminação e ventilação natural e por ofertar um design mais sofisticado aos ambientes (DUDEQUE *et al.*, 2011; SANTOS, 2017). Além disso, possuem uma grande demanda na sua utilização por ser viável a fabricação *in loco*, facilitando o desenvolvimento da obra e garantindo abatimento no orçamento, tornando-a mais econômica e sustentável.

Nesse contexto, é válido salientar que as matérias-primas são finitas, limitadas e muitas vezes se encontram em locais distantes da obra, como afirma Queiroz *et al.* (2020). Pela dificuldade de acesso aos materiais necessários, o uso de agregados reciclados do empreendimento e de usinas colabora com a retenção de desperdícios e se torna via alternativa de matéria-prima. Todavia, há a necessidade de investigar se esses materiais servem para gerar novos produtos, tanto individualmente quanto combinados.

Portanto, a utilização de resíduos para o desenvolvimento de produtos para a construção civil é um grande atrativo para reduzir os impactos ambientais gerados por estes e contribuir com a redução do orçamento das obras. Entretanto, a obtenção de um produto para a construção civil que apresente desempenho mecânico satisfatório é sempre a primazia de todas as pesquisas. De acordo com Bigolin e Filho (2013), o fator de desempenho ambiental nem sempre é contemplado e considerado nas pesquisas. Nesse sentido, o estudo da utilização de agregados reciclados pode ser incluído no processo de criação de blocos vazados decorativos, tendo em vista que esses elementos não possuem exigências técnicas rigorosas e não necessitam obter uma alta resistência.

Portanto, a presente pesquisa tem como finalidade confeccionar blocos vazados (cobogó) com agregados reciclados, mais especificamente RCD e cinza pesada, com respostas técnicas do elemento produzido, comparando e analisando as propriedades mecânicas para viabilizar o seu emprego na construção civil.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a utilização de resíduos da construção e demolição e resíduos industriais como agregados para a produção de argamassa na fabricação de blocos vazados – Cobogó.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- a) Comparar o comportamento no estado fresco e estado endurecido da argamassa produzida com a amostra convencional, com resíduos de construção e demolição, com resíduo industrial (cinza pesada) e com a combinação desses resíduos como agregados;
- b) Avaliar a influência dos tipos de agregados reciclados na resistência à compressão dos blocos vazados decorativos;
- c) Avaliar a influência dos tipos de agregados residuais dos blocos vazados decorativos na geração de impactos ambientais.

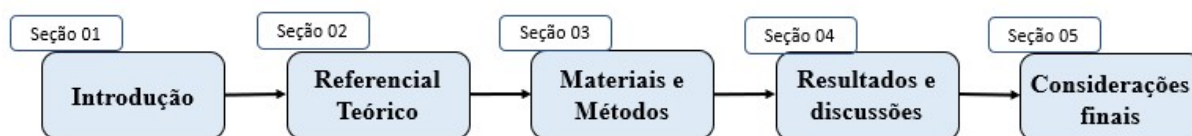
1.3 Delimitação

O objeto do estudo se delimitou em utilizar resíduos de construção e demolição e resíduos industriais (cinza pesada) para a análise da sua utilização como agregados para formulação de argamassa, cujo propósito é a criação de blocos vazados decorativos.

1.4 Estrutura da pesquisa

Como apresentado na Figura 1, a pesquisa é dividida em cinco seções: introdução, referencial teórico, material e métodos, resultados e discussão e conclusão.

Figura 1: Descrição das seções da pesquisa



Fonte: Autor (2022)

A primeira seção apresenta a contextualização e a motivação da pesquisa, na qual é exposto o problema em estudo. Na sequência, o referencial teórico contém os principais conteúdos de relevância para fundamentar e tornar a pesquisa efetiva.

Em seguida, tem-se o material e métodos da pesquisa que engloba, com detalhes, todos os procedimentos e ensaios necessários para a obtenção dos resultados. Posteriormente, a seção quatro apresenta todos os resultados e discussão do estudo realizado. Por fim, as conclusões com as respostas da problemática base da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Utilização de resíduos para a obtenção de produtos destinados à construção civil

A geração de resíduos sólidos em larga escala ainda é um grande problema para a humanidade, sobretudo em setores industriais. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza - ABRELPE (2021), a destinação final e disposição incorreta dos resíduos ainda está presente em todo o país, tendo um aumento de mais de 15% em relação a 2010, trazendo inúmeros malefícios ao meio ambiente e à saúde humana.

O ramo da construção civil, atualmente, está em crescimento. Com isso, as empresas necessitam buscar a otimização de seus processos construtivos, tal como aperfeiçoar e incluir a reutilização de produtos na criação de novos materiais, reduzindo o desperdício. Em conformidade, esse reuso de resíduos como forma de matéria-prima e agregados já vem sendo difundida ao longo dos anos no setor, sendo os produtos com matrizes cimentícias a forma mais comum de incorporação desses resíduos das mais diversas indústrias (BIGOLIN; FILHO, 2013).

Ademais, como afirma a ABRELPE (2021), a geração de resíduos cresce seis vezes mais que a população, gerando um grande problema populacional e ambiental. Contudo, esse crescimento exacerbado, se estudado e aplicado soluções para separação de forma correta e metodologias de uso desses produtos de acordo com as características e necessidades, pode tornar-se uma medida de mitigação de impactos ao aplicar esses resíduos como matéria-prima, principalmente, na forma de agregados na construção civil.

Entretanto, existe uma grande variação na composição dos resíduos que influenciam na sua destinação final, como visto na Figura 2.

Figura 2: Disposição de RCD a céu aberto.



Fonte: Autor (2022)

Por isso, sua classificação, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a NBR 10004 (2004), pode ser realizada, de acordo com o padrão e a periculosidade, da forma disposta no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação dos resíduos segundo a Periculosidade.

Classes		Características
I - Perigosos		Apresentam periculosidade, causando riscos à saúde pública e riscos ao meio ambiente quando forem gerenciados de maneira incorreta, que apresentem características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, ou ainda que possuam constituintes perigosos, conforme descrito em norma.
II - Não Perigosos	II A - Não Inertes	Podem ter propriedades, como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
	II B - Inertes	Quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: adaptado de NBR 10004 (2004).

Dessa forma, os resíduos da Classe II B podem ser reutilizados e reciclados devido suas características inertes. Conhecendo bem essas características é possível avaliar o potencial

de aproveitamento e futuras aplicações, como também as consequências do não aproveitamento em todo o seu ciclo de vida (ZOTTI, 2022).

Somado a isso, Pereira (2014) afirma que a reciclagem de um material ou seu reuso proporciona economia nas atividades para manejo e disposição desses resíduos, sendo esse tipo de atividade bem aceita pelos consumidores e pela comunidade.

2.1.1 Resíduos

2.1.1.1 Resíduos da Construção e Demolição

Conforme a resolução CONAMA nº 307/2002, foi homologada em julho de 2002, a qual estabeleceu critérios, diretrizes e métodos de gerenciamento dos RCC no Brasil, como também definiu esses materiais como:

“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 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.”

Como existe uma grande variação de componentes dos resíduos, que possibilitam diferentes formas de reutilização, a Resolução CONAMA n.º 307/2002 classificou os RCC em relação a sua composição (Quadro 2).

Quadro 2: Classificação dos Resíduos de Construção Civil

Classes	Integrantes predominantes considerados na composição gravimétrica
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados provenientes de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, peças pré-moldadas em concreto, etc.), argamassa e concreto, reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que

	contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04).
--	--

Fonte: Autor (2022)

Em 2021, de acordo com a ABRELPE (2021), os Resíduos de Construção e Demolição representaram, aproximadamente, 57% do peso total de todos os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU 's) do país, totalizando cerca de 46,9 milhões de toneladas. As possibilidades de redução da geração de rejeitos nos diferentes processos produtivos apresentam limites técnicos, assim, pode-se concluir que é inevitável a existência do RCD (JOHN, 2001). Dessa forma, o conhecimento das informações classificatórias é de grande importância já que há uma grande variabilidade de constituintes devido a elevada porcentagem de massa, sendo eles presentes na classe A.

Segundo Associação Brasileira para Reciclagem de RCD (ABRECON, 2015), a criação e aplicação de técnicas de reciclagem de entulho da construção civil, para utilização como agregado, iniciou-se por volta de 1946, após a Segunda Guerra Mundial, pela necessidade de reconstrução das cidades europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos (LEVY, 1998). Entretanto, o Brasil teve um início mais tardio, tendo o primeiro estudo sobre a reciclagem de RCD em 1986, sobre a utilização de reciclado para produção de argamassa, pelo arquiteto Tarcísio de Paula (LEITE, 2001).

Somado a isso, a verificação da viabilidade da reutilização para composição de novos materiais é necessária, já que devido à grande variabilidade de componentes proporcionam a existência de muitos materiais contaminantes, podendo acarretar problemas com sulfatos, cloretos, nitratos, entre outros (MIRANDA *et al.*, 2009). Desse modo, os resíduos da Classe A são os mais indicados para reutilização, pois estão em maior quantidade, necessitam de menos tecnologias para processamento, são mais sólidos e não contêm muitos contaminantes, garantindo maior qualidade aos novos produtos (OLIVEIRA, 2018).

2.1.1.2 Cinza Pesada

Os resíduos sólidos podem ser originados das atividades dos diversos ramos da indústria, tais como termelétrica, metalúrgica, química, alimentícia, entre outras. Assim, obtém inúmeras variações, podendo ser representados por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros e cerâmicas, dentre outros (NAUMOFF E PERES, 2000).

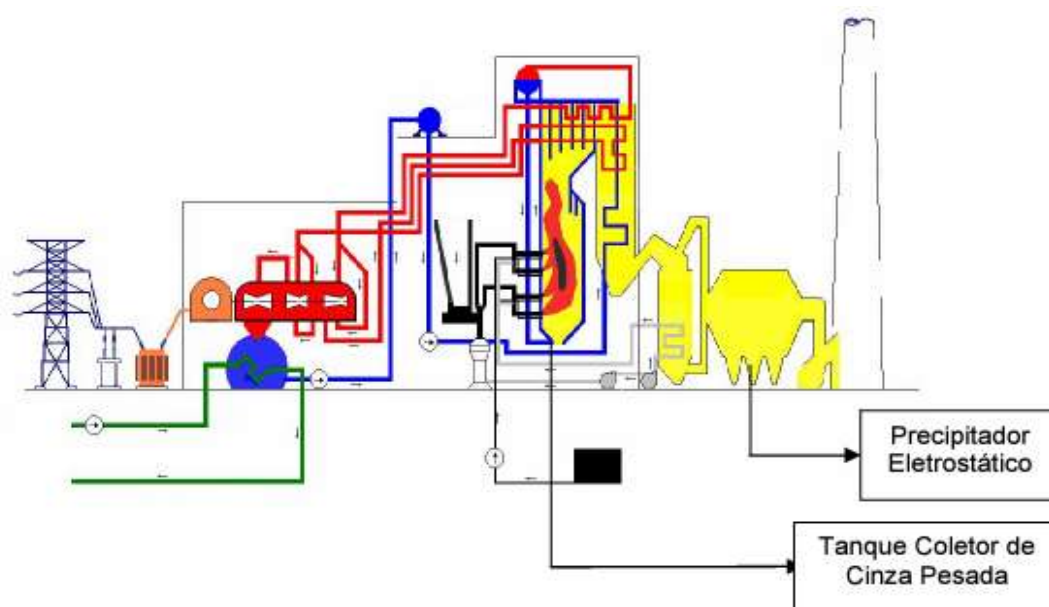
Com a evolução tecnológica e industrial, surgiram processos de queima de carvão mineral, para obtenção de energia elétrica, mais eficientes, nas usinas térmicas da década de 1920. Os processos evoluídos consistiam em queimar o carvão mineral pulverizado nas caldeiras, substituindo o processo realizado com torrões (LEANDRO, 2005). A combustão desse material produz dois subprodutos sólidos: a cinza leve, conhecida como cinza volante, e a cinza pesada, ambas nocivas ao meio ambiente (ROCHA *et al.*, 1999; LOVELL *et al.*, 1991). As propriedades destas cinzas dependem da qualidade do carvão utilizado, do tipo de caldeira, da temperatura do processo de queima, entre outros fatores, segundo Leandro (2005).

Leandro (2005) define cinza pesada como:

“É um material granular, poroso, com granulometria predominantemente de areia. Essa cinza, gerada a partir da aglomeração dos grãos semifundidos no interior da câmara de combustão, deposita-se no fundo da caldeira e é transportada por arraste hidráulico até as bacias de sedimentação.” (LEANDRO, 2005).

A Figura 3 exemplifica o processo de geração de energia térmica por meio da queima do carvão mineral pulverizado a seco.

Figura 3: Esquema de geração de energia térmica e produção das cinzas.



Fonte: TRACTEBEL ENERGIA (2002)

Siqueira (2011) afirma que 1 kg de carvão produz cerca de 150 g de cinza, que por sua vez contém de 6 a 24 gramas de carvão incombustível, sendo que de todo o material não queimado nesse processo, cerca de 20% do resíduo é cinza pesada, que se acumula em um

tanque, como o mostrado na Figura 3, removida por meio de arraste hidráulico para bacias de sedimentação para serem estocadas (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 1998).

A cinza pesada tem massa específica variando de 1,90 a 3,40 g/cm³ e apresenta grãos de dimensões variáveis, sendo semelhantes às dimensões dos grãos de areia ou até menor (LOVELL *et al.*, 1991; FHWA, 1998).

Leandro (2005) afirma que o emprego de diferentes tipos de cinzas na construção civil já tem mais de 2000 anos, sendo exemplo os romanos que utilizavam cinzas vulcânicas para construção de moradias, templos e monumentos, já que as propriedades das cinzas eram conhecidas. Com isso, o estudo desse material e a aplicação em diferentes casos vem ganhando dimensões maiores a cada ano. Por exemplo, segundo resultados obtidos por Rocha *et al.* (1999), foi comprovado que esse tipo de resíduo, quando aplicado em blocos e briquetes de pavimentação, apresentava potencial suficiente para ser empregado como matéria-prima na produção de artefatos de concreto e argamassa, levando em consideração tanto o desempenho mecânico quanto a grande disponibilidade dos mesmos.

2.1.2 Bloco vazado decorativo

O bloco vazado decorativo, mais conhecido como cobogó, é um elemento empregado na construção de paredes perfuradas, com principal função sendo a de separar o interior do exterior, ofertando ao ambiente luz e ventilação natural. Elemento que se generalizou para designar os elementos celulares usados como quebra sol (CORONA, 1989).

Tal artefato é um dos mais conhecidos componentes da cultura construtivo-projetual e estético-ambiental, sendo aplicado originalmente no Brasil modernista, cujo destaque se dá por suas qualidades ambientais, contribuindo para o baixo impacto arquitetônico das edificações. Ademais, foi patenteado em 1929, pela A. C. Coimbra & Cia, como “Um novo sistema de blocos de concreto para construção, denominado Blocos Perfurados Cobogó” (VIEIRA; BORBA; RODRIGUES, 2012, p.9-21).

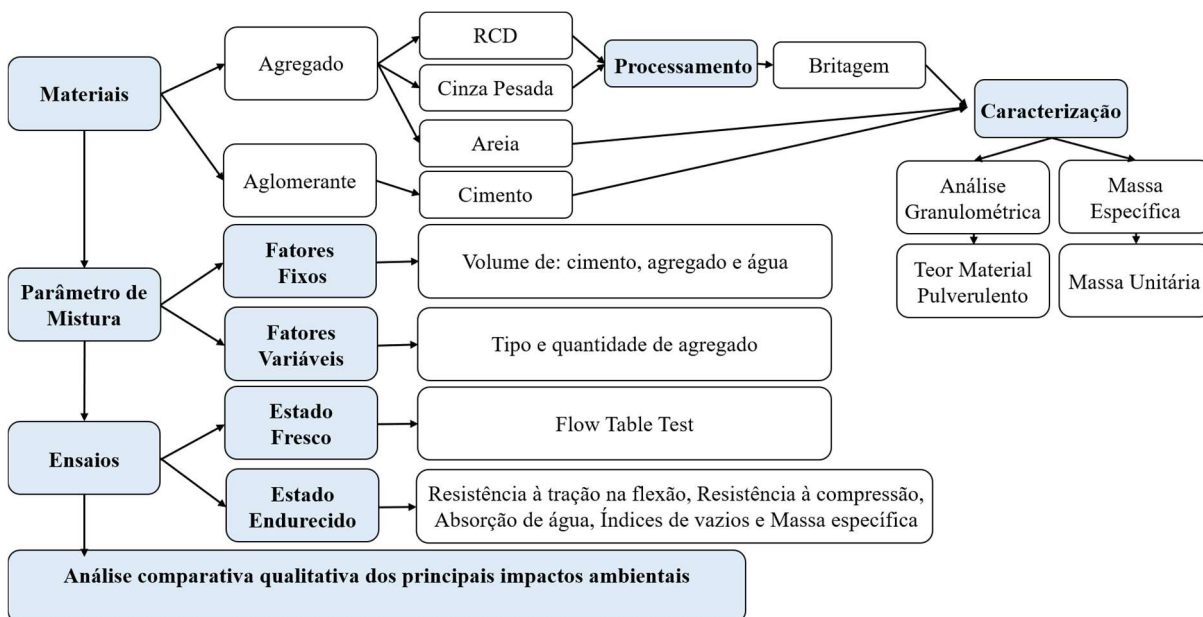
A ABNT NBR 13281 (2005) especifica os requisitos necessários para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos, a qual pode ser utilizada, também, para produção de materiais de construção pré-moldados. Ela define argamassa como uma mistura de materiais de forma homogênea de agregado miúdo, aglomerantes inorgânicos e água, podendo conter aditivos ou não, com propriedades de endurecimento e aderência, sendo permitida a dosagem em obra ou de forma industrial (ZOTTI, 2022).

Vários estudos sobre pré-moldados começaram a aplicar argamassas com agregados reciclados na sua composição e estudar a melhoria desses produtos (CAROLINO *et al*, 2021; JOCHEM, 2012; LEANDRO, 2008; ZOTTI, 2022). Com isso, possibilitando a melhoria e evolução dos artefatos, como por exemplo aumentando a resistência e impermeabilidade, cujas propriedades precisam ser melhoradas, principalmente nos blocos vazados decorativos atualmente comercializados. De acordo com o Manual de Cimentícios e Cobogó da empresa Decortiles Cerâmicas & Design, (2018), eles necessitam de muitos cuidados no transporte e instalação devido à grande fragilidade, além de necessitar de impermeabilização para uma boa durabilidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nessa seção é apresentado o método de pesquisa do estudo, o qual é classificado como um trabalho explicativo e experimental. Na Figura 4 pode-se observar o sequenciamento da metodologia aplicada.

Figura 4: Fluxograma da Metodologia de Pesquisa.



Fonte: Autor (2022)

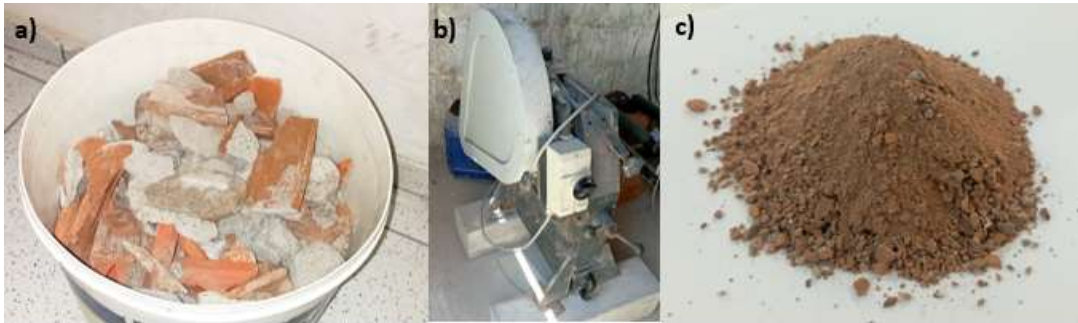
3.1 Materiais

Os materiais utilizados neste estudo foram: resíduos de construção e demolição, cinza pesada, areia, cimento e água.

3.1.1 Agregados

Os resíduos de construção e demolição foram coletados na cidade de Crateús-CE em obras locais, na forma de entulho de diferentes dimensões, como tijolos, telhas, concretos, sendo escolhidos apenas materiais da Classe A, classificados pela Resolução CONAMA 307/2002, como podem ser visualizados na Figura 5a. Em seguida, foi necessária a redução do tamanho do material, manualmente, com uso de uma marreta, para posterior processamento no britador (Figura 5b), para então obter o RCD na forma de agregado, como apresentado na Figura 5c.

Figura 5: a) Resíduos de construção e demolição; b) Britador; c) Aspecto visual do material britado;



Fonte: Autor (2022).

A cinza pesada foi coletada na Usina Termelétrica do Pecém e processada através da britagem e peneiramento na peneira 150 μ m, sendo o material passante utilizado para outros fins e o material retido utilizado nesta pesquisa, cuja forma física pode ser vista na Figura 6.

Figura 6: Aspecto visual da cinza pesada



Fonte: Autor (2022).

A areia utilizada, obtida em leito de rios, comumente encontrada nas lojas de materiais de construções, a qual pode ser observada na Figura 7.

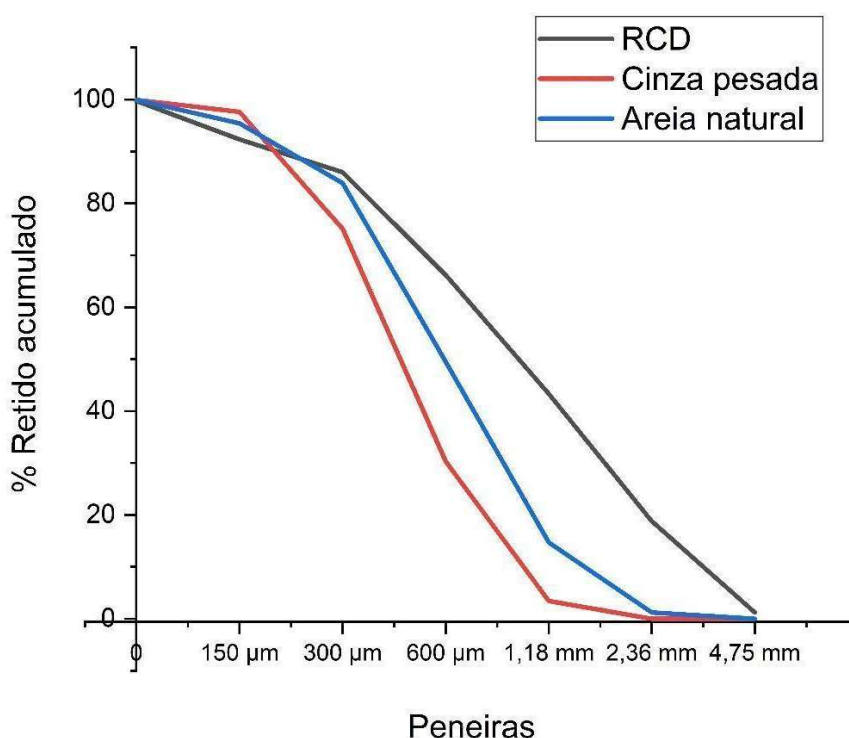
Figura 7: Aspecto visual da areia.



Fonte: Autor (2022).

Os materiais foram caracterizados de acordo com alguns ensaios e análises. Dentre eles, foi realizada a análise granulométrica, seguindo a ABNT NBR 17054 (2022), que pode ser observado no Gráfico 1. Além disso, foi realizado o ensaio do Teor de Material Pulverulento, de acordo com a norma ABNT NBR 16973 (2021), como também, os ensaios de massa específica, pelos padrões da norma DNER – ME 194 (1998), e massa unitária, pela ABNT NBR 16972 (2021). As características dos materiais podem ser observados na Tabela 1.

Gráfico 1 - Distribuição granulométrica dos agregados



Fonte: Autor (2022)

Tabela 1 - Caracterização dos agregados

Características	RCD	CINZA PESADA	AREIA
Módulo de Finura	3,078	2,066	2,446
Máxima Dimensão Característica	4,75	1,18	2,36
Teor de material pulverulento	20,0%	4,8%	2,94%
Massa específica	2,475 g/cm ³	3,404 g/cm ³	2,631 g/cm ³
Massa unitária	1,342 kg/l	1,821 kg/l	1,56 kg/l

Fonte: Autor (2022)

3.1.2 Aglomerante

Utilizou-se no estudo o cimento Portland CP-II E 32, da marca Poty, como pode-se observar na Figura 8.

Figura 8: Aspecto visual do cimento



Fonte: Autor (2022).

Os dados de caracterização do material foram os fornecidos pelo fabricante, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 - Informações sobre a caracterização do cimento.

<i>CIMENTO</i>	
Propriedades químicas, físicas e mecânicas	Especificação
Perda ao fogo – PF	6,51 %
Óxido de magnésio – MgO	2,88 %
Na₂O	0,20 %
K₂O	0,97 %
SO₃	3,62 %
Resíduo insolúvel – RI	2,90 %
Finura - #200 (0,075 mm)	6,6 %
Finura - #325 (0,044 mm)	18,8 %
Área específica – Blaine	3604 cm ³ /g
Início de pega	179 min

Propriedades químicas, físicas e mecânicas	Especificação
Fim de pega	226 min
Expansibilidade a quente	0,5 mm
Resistência à compressão (3 dias)	23,0 MPa
Resistência à compressão (7 dias)	28,1 MPa
Resistência à compressão (28 dias)	35,5 MPa

Fonte: Cimentos Poty (2022).

3.2 Método de pesquisa

3.2.1 Parâmetros de Mistura

Os parâmetros de mistura foram baseados no estudo de Carolino *et al.* (2021). Foram produzidos quatro tipos de argamassas, sendo uma composta por cimento e areia natural (convencional) e as demais com variações de agregados. A proporção entre os materiais componentes foi mantida fixa 1:2,5:0,76 (cimento: agregado miúdo: água), os pesos mantiveram as mesmas proporções (2250,0g de cimento; 5625,0g de agregado e 1710,0g de água) e os agregados miúdos foram variáveis. Dessa forma, as alternâncias de componentes ocorreram de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Traços utilizados e quantidade de agregado.

Traço 1:2,5:0,76	Quantidade de agregado
T1 - Traço 01 (convencional)	100% Areia
T2 - Traço 02	100% RCD
T3 - Traço 03	100% Cinza pesada
T4 - Traço 04	50% RCD e 50% Cinza pesada

Fonte: Autor (2022).

O processo de mistura das argamassas se deu através do método disposto na norma ABNT NBR 16541 (2016) utilizando a argamassadeira da Figura 9a. Inicialmente, a relação água/cimento (a/c) foi determinada com base no ensaio de consistência e plasticidade do traço com o agregado de resíduos de construção e demolição com espalhamento igual a 22,00 cm (Figura 9b).

Figura 9 - a) Argamassadeira; b) Espalhamento da argamassa teste.



Fonte: Autor (2022).

3.2.2 Avaliação das propriedades das argamassas e dos blocos

No estado fresco, o material foi submetido ao ensaio de consistência e plasticidade na mesa de consistência (Flow Table Test), com o intuito de analisar a trabalhabilidade e consistência.

O ensaio ocorreu através da utilização da mesa de consistência ilustrada na Figura 10a, seguindo o que é prescrito na norma NBR ABNT 13276 (2016). Para cada tipo de traço foram realizadas três medições em diferentes direções com o auxílio do paquímetro como mostrado na Figura 10b.

Figura 10 - a) Mesa de consistência; b) Exemplo da medição realizada com paquímetro para cada argamassa.

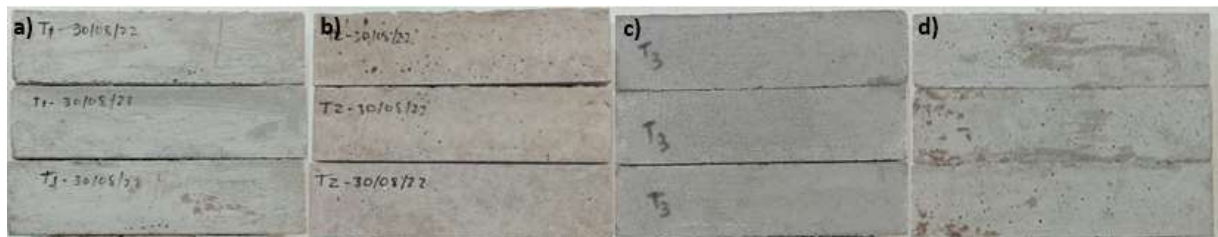


Fonte: Autor (2022).

No estado endurecido, os corpos de provas foram submetidos à resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção de água, índices de vazios e massa específica.

O ensaio de resistência à tração na flexão foi baseado na norma NBR ABNT 13279 (2005). Com isso, para cada traço foram preparados três corpos de prova prismáticos com dimensões 4x4x16cm, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Corpos de provas prismáticos.



Fonte: Autor (2022).

Os corpos de prova foram rompidos com 28 dias de cura, em temperatura ambiente, através da prensa representada na Figura 12a, assim dividindo o material em duas partes (Figura 12b), que foram utilizadas para o ensaio de resistência à compressão axial (Figura 12c), conforme as prescrições da NBR ABNT 13279 (2005).

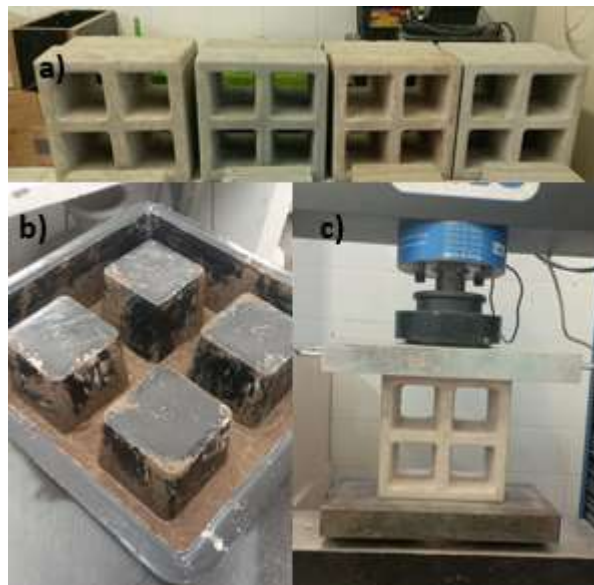
Figura 12 - a) Rompimento para resistência à tração na flexão; b) corpo de prova rompido; c) Rompimento para resistência à compressão axial.



Fonte: Autor (2022).

Além disso, foram fabricados dois blocos com dimensões 24x24x10cm, para cada traço, seguindo os padrões de mistura e adensamento na moldagem dos corpos de prova, Figura 13a, podendo ser a fôrma utilizada para fabricação do elemento vazado, com capacidade para três litros de argamassa, observada na Figura 13b. Os corpos de prova foram curados em temperatura ambiente e após 28 dias foram rompidos (Figura 13c).

Figura 13 - a) Corpos de provas - Cobogós; b) Fôrma do Bloco; c) Prensa adaptada para rompimento.



Fonte: Autor (2022).

O ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica foi realizado seguindo a ABNT NBR 9778 (2005). Para isso, foram feitos três corpos de provas cúbicos com 4cm de aresta para cada traço em estudo, seguindo os passos da norma e adensamento necessário. Os corpos de prova podem ser observados na Figura 14, já imersos em água para realização dos ensaios.

Figura 14 - CP's submersos em água.



Fonte: Autor (2022).

Vale salientar que os ensaios foram realizados na Universidade Federal do Ceará, mais especificamente no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) – Campus Pici e no Laboratório de Materiais - Campus de Crateús.

3.2.3 Avaliação comparativa qualitativa dos principais impactos ambientais dos produtos (blocos)

A análise comparativa dos blocos foi realizada com base na norma NBR ISO 14040. Para cada traço foi confeccionado um fluxograma dos processos para uma comparação qualitativa dos possíveis impactos ambientais provocados pelos blocos produzidos, incluindo todo o processamento do artefato (matéria-prima e em forma de resíduo, processo de produção, transportes, uso do produto e destinação final).

Utilizou-se os conceitos e definições da NBR ISO 14040 para determinar os limites do sistema, sendo a fronteira inicial a obtenção da matéria utilizada para ser agregado, e a fronteira final, o seu reuso. Por fim, foram identificados os principais impactos para os blocos produzidos, verificando todos os processos e passivos ambientais relacionados a eles. Assim, gerou-se um fluxograma simplificado das entradas (processos para a produção), saídas (o que é gerado) e impactos (o que causa).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

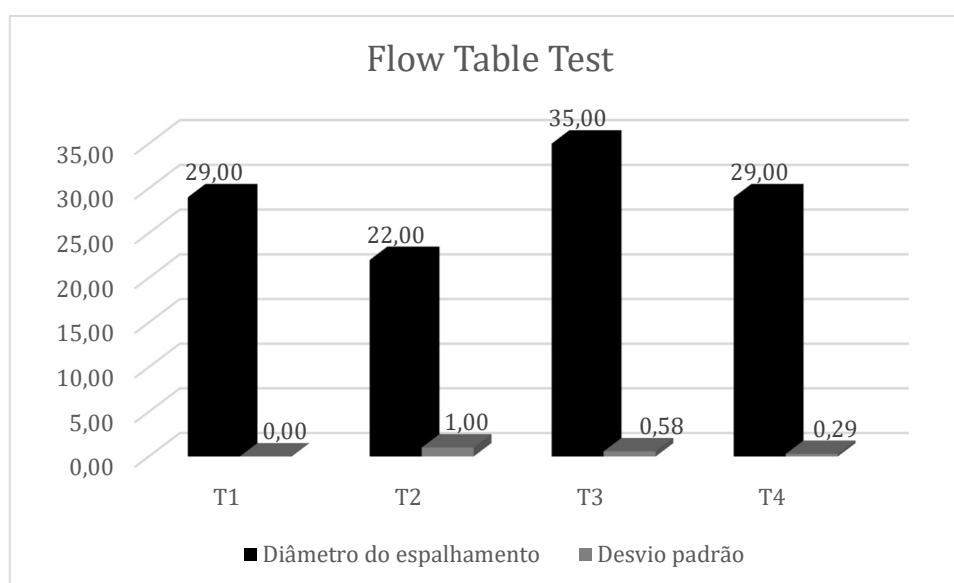
Nessa seção são apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco e no estado endurecido do estudo, assim como a análise dos principais impactos ambientais provocados na produção dos blocos.

4.1 Estado Fresco

4.1.1 Mesa de Consistência e Plasticidade (*Flow Table Test*)

Os resultados do ensaio da mesa de consistência e plasticidade (*Flow Table Test*) estão no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Média do diâmetro de espalhamento na mesa de consistência



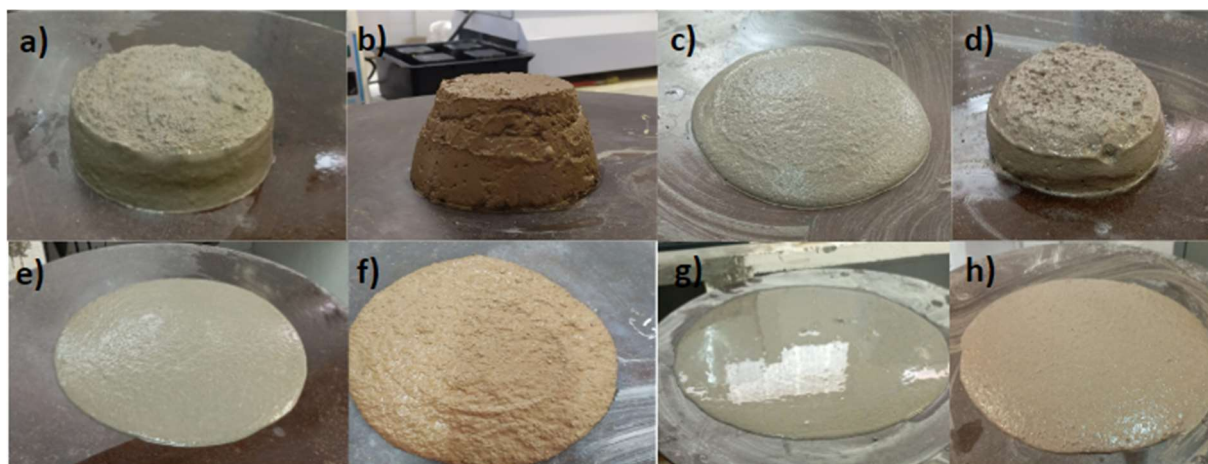
Fonte: Autor (2022).

A argamassa produzida com agregado de cinza pesada (T3) obteve diâmetro de espalhamento superior ao valor estabelecido e às demais argamassas, que obtiveram valores entre 21 e 30 cm (Gráfico 2). Somado a isso, a argamassa produzida com RCD (T2) obteve menor espalhamento. Vale salientar que esse traço foi utilizado para fixar a relação água/cimento, portanto, esse resultado era o que se desejava obter nas argamassas. Por esta razão, a argamassa T2 apresentou característica mais plástica, com facilidade de deformação sob influência das cargas aplicadas, enquanto as demais tiveram uma consistência mais fluida.

A argamassa produzida com cinza pesada (T3) apresentou característica autonivelante, cujo espalhamento ocorre pela ação do próprio peso, como pode ser visto na

Figura 15c. De modo geral, na Figura 15 pode-se observar o aspecto da argamassa de cada traço após a retirada do cone, como também, o espalhamento logo após as 30 quedas indicadas pela NBR ABNT 13276 (2016).

Figura 15 - Argamassa obtida após levantamento do cone, a) T1; b) T2; c) T3; d) T4; Espalhamento após quedas. e) T1; f) T2; g) T3; h) T4.



Fonte: Autor (2022).

Para as argamassas possuírem boa trabalhabilidade, de acordo com Rago e Cincotto (1999), é necessário ter uma consistência e plasticidade satisfatória. Para Ribeiro e Nunes (2012) é recomendado que o diâmetro do espalhamento do material fique inferior ao valor referência de 30 cm, para obter uma boa consistência e se deformar adequadamente. Desse modo, somente a argamassa produzida com cinza pesada (T3) ultrapassou esse valor, enquanto as demais estão dentro do limite.

Analisando a caracterização dos agregados na Tabela 1, percebe-se que o teor de material pulverulento do RCD é de 20,00%, o que implica que esse material possui uma alta concentração de material em pó abaixo de 75 μ m em relação aos demais agregados. Isso pode interferir na trabalhabilidade devido as menores partículas possuírem maior área de superfície específica e demandarem maior quantidade de água para envolver essas partículas (NEVILLE, 1997). Além de o RCD apresentar alta absorção de água, assim necessitando de uma maior relação a/c para obter boa trabalhabilidade, justificando o menor diâmetro de espalhamento para a argamassa produzida com RCD (T2) (KRUGER, 2020).

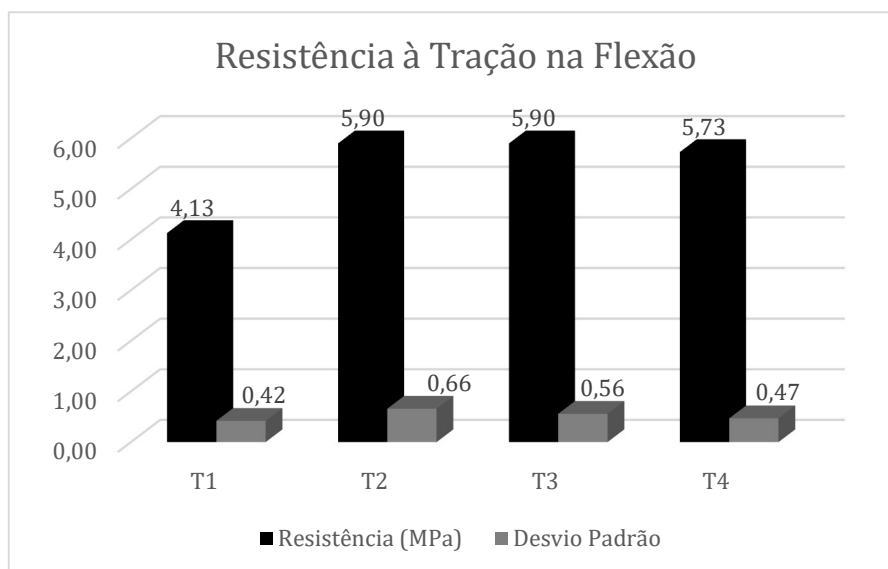
Por fim, vale salientar que é necessário determinar a relação água/cimento para cada tipo de material, para obter uma consistência adequada, conforme as características de cada agregado, principalmente para a cinza pesada que obteve maior valor de diâmetro.

4.2 Estado Endurecido

4.2.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados de resistência à tração na flexão estão no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Resultados Resistência à Tração na Flexão - CP's



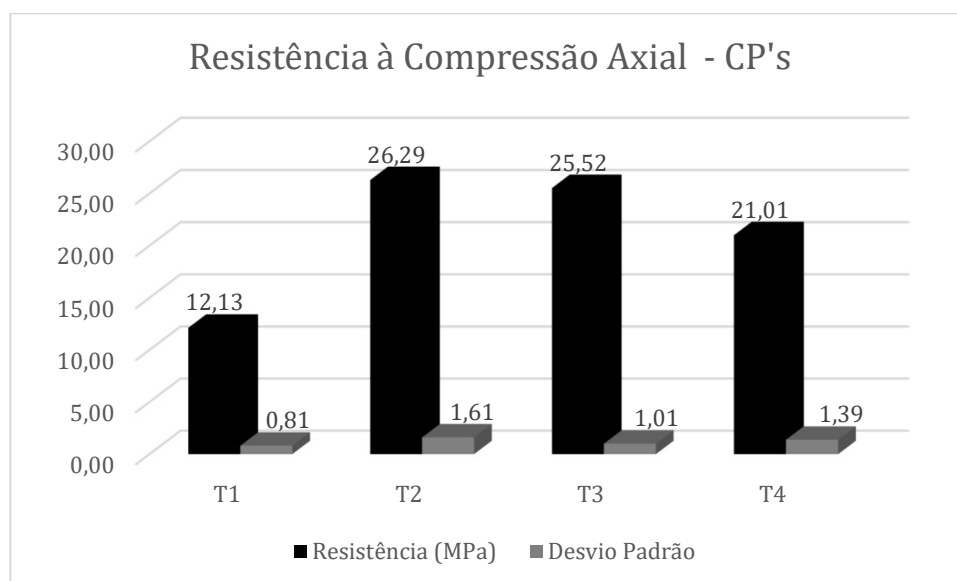
Fonte: Autor (2022).

De acordo com os valores obtidos no ensaio, a argamassa produzida com areia natural (T1) obteve a menor resistência entre os corpos de provas, enquanto a argamassa produzida com RCD (T2) e a argamassa produzida com cinza pesada (T3) obtiveram a maior resistência à tração na flexão, com um aumento aproximado de 73% em relação a T1. A argamassa mista (T4) apresenta resultado sutilmente inferior aos traços T2 e T3.

4.2.2 Resistência à compressão axial

No Gráfico 4 são apresentados os resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova (CP's).

Gráfico 4 - Resultados Resistência à Compressão - CP's

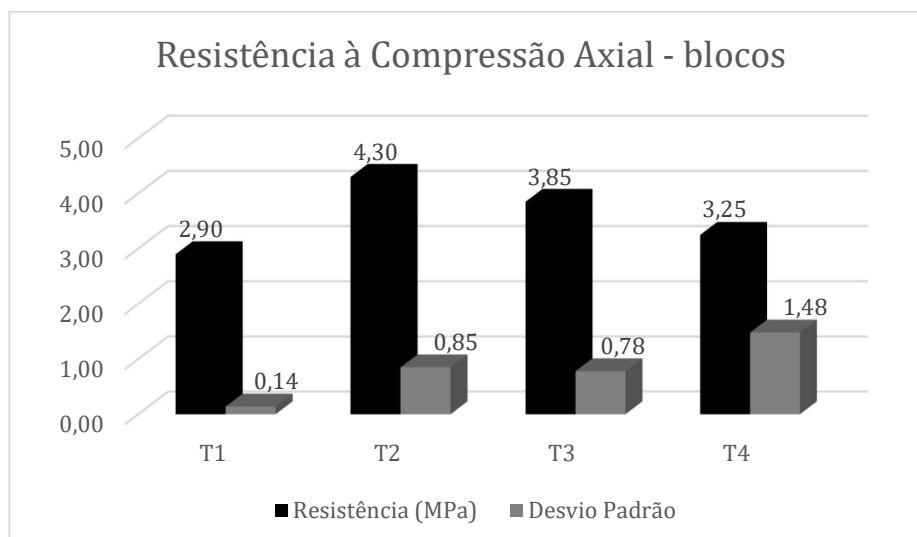


Fonte: Autor (2022)

A argamassa produzida com areia natural (T1) apresentou menor resistência à compressão, enquanto as argamassas T2, T3 e T4 obtiveram valores maiores que 20 MPa, sendo que a argamassa produzida com RCD (T2) alcançou resistência 116,7% superior à T1.

Os resultados de resistência à compressão dos blocos estão no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Resultados Resistência à Compressão - blocos



Fonte: Autor (2022).

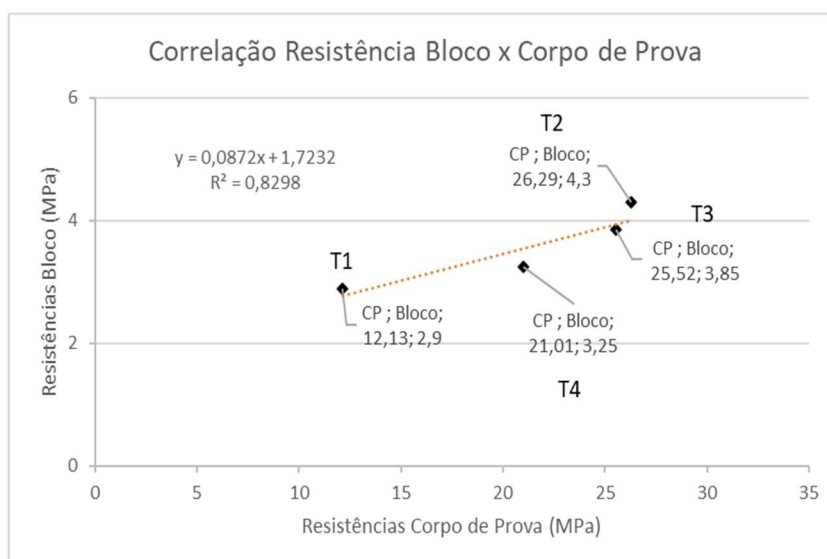
Como não há normas técnicas específicas para blocos vazados (cobogó), para a análise dos resultados de resistência mecânica foi utilizada como referência a norma ABNT NBR 6136 (2016), que é destinada para blocos de concreto para alvenaria de vedação. Nessa norma é especificado que blocos vazados sem função estrutural devem ter resistência mínima

de 3,0 MPa. Com isso, pode-se perceber que apenas o bloco com argamassa produzida com areia natural (T1) obteve resultado abaixo do valor mínimo e que o bloco com argamassa produzida com resíduos de construção e demolição (T2) obteve a melhor resistência média, logo em seguida do bloco com argamassa produzida com cinza pesada (T3).

Os resultados de resistência mecânica obtidos diferem da literatura, de acordo com Carolino *et al.* (2021), quando a areia é substituída 100% pelo agregado de RCD, mantendo a relação água /cimento fixa, a argamassa reduz sua resistência em até 42%. Entretanto, o aumento de resistência encontrado pode estar relacionado ao maior empacotamento das partículas, ocasionado pelo alto teor de material pulverulento e o efeito *filler* dos finos dos agregados, assim como, pelo efeito pozolânico dos resíduos cerâmicos contidos no RCD (LIMA, 1999; PEDROZO, 2008; KRUGER, 2020).

Ademais, a diferença dos resultados de resistências à compressão obtida entre os corpos de provas e os blocos produzidos ocorre devido a diferença de geometria desses elementos. No bloco, a presença de furos, formas e posições diferentes pode acarretar concentrações de tensões quando há aplicações de cargas, assim reduzindo a resistência à compressão dos objetos (GANESAN E RAMAMURTHY, 1992). Portanto, considerando a diferença de formato dos corpos de prova, cúbico, maciço, com 40 mm³ e dos blocos, com dimensões 24x24x10cm, possuindo 4 furos de dimensões 9x9x10cm, realizou-se um estudo da correlação entre às resistências à compressão dos mesmos, por meio de regressão linear, como apresentado no Gráfico 6.

Gráfico 6: Correlação das resistências entre os blocos e os corpos de prova



Fonte: Autor (2022).

Conforme o Gráfico 6, obteve-se uma correlação com, aproximadamente, 82% de grau de confiança, indicando que a aplicação da Equação 1 possibilita estimar a resistência dos blocos a partir de análise em corpos de prova cúbicos.

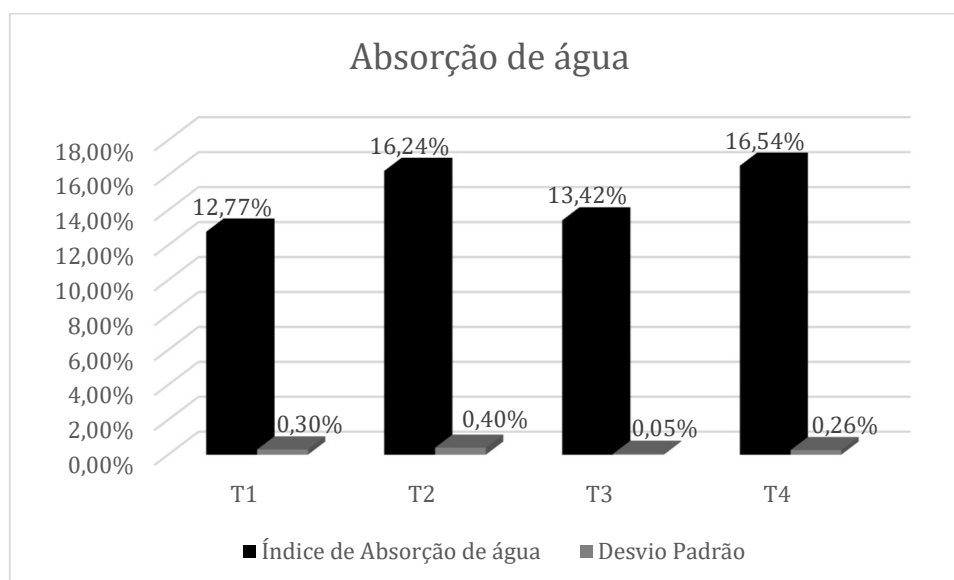
$$y = 0,0872x + 1,7232 \quad (1)$$

Esse tipo de modelagem permite a economia de recursos, como materiais, tempo e energia e pode ser utilizada no processo de definição de traços, isto é, na proporção dos materiais.

4.2.3 Absorção de água, índices de vazios e massa específica

Os percentuais de absorção de água estão no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Resultados Absorção de água - CP's

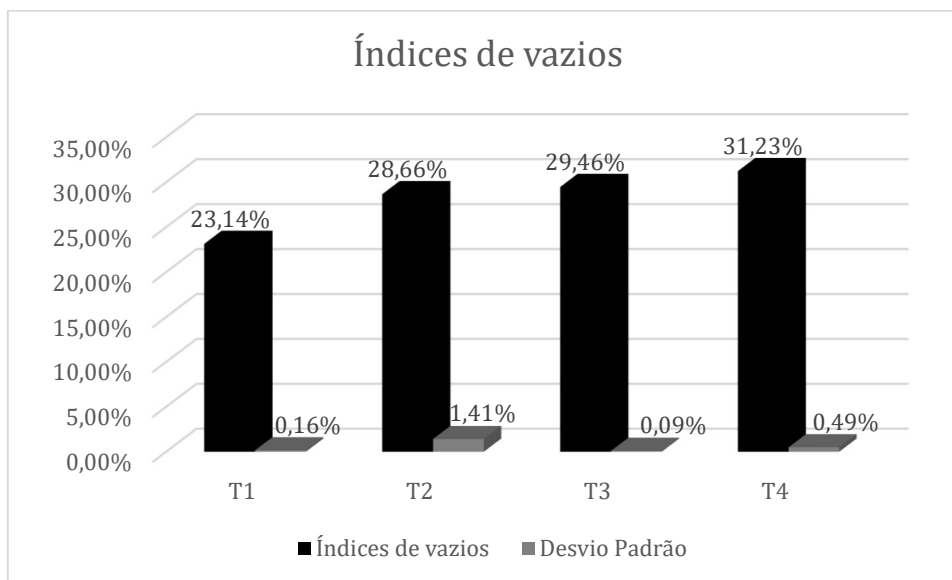


Fonte: Autor (2022).

De acordo com a norma ABNT NBR 6136 (2016), os blocos vazados que não exercem funções estruturais devem possuir um percentual de absorção de água menor ou igual a 16,00%. Com isso, nota-se que a argamassa produzida com areia natural (T1) e a argamassa produzida com cinza pesada (T3) estão de acordo com o prescrito, enquanto a argamassa produzida com RCD (T2) e a argamassa mista (T4) apresentaram valores ligeiramente fora do normatizado, pois possuem em sua composição o RCD.

Os percentuais de índices de vazios estão dispostos no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Resultados Índices de vazios - CP's



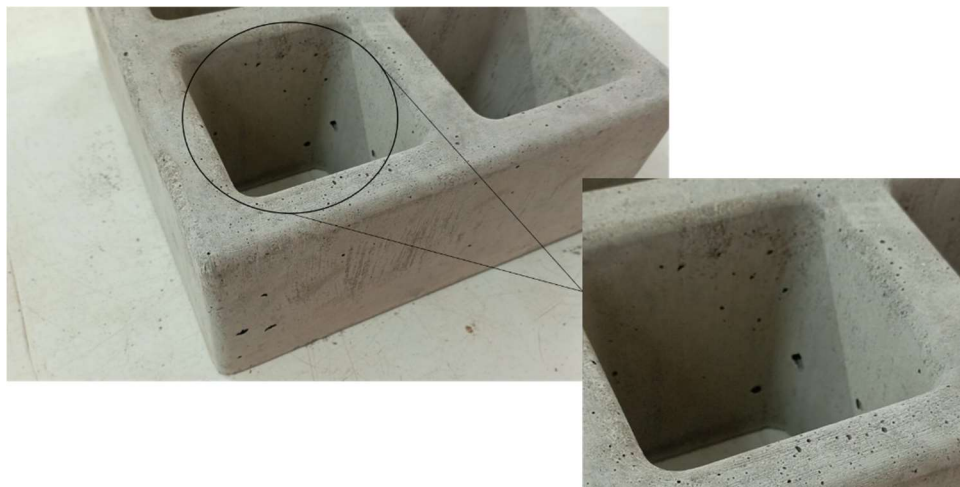
Fonte: Autor (2022).

Com relação aos índices de vazios, é visto que a argamassa mista (T4) registrou maior índice, com valor acima de 30,00%. Também é possível verificar que a argamassa produzida com areia natural (T1) obteve menor valor de índice de vazios, assim como de absorção de água. Esse comportamento não é coerente com o resultado de resistência mecânica. Portanto, sugere-se investigações mais aprofundadas para a argamassa T1 nesses quesitos.

Também deve-se considerar que as partículas dos agregados reciclados de RCD apresentam maior porosidade em relação aos naturais (PEDROZO, 2008). Com isso, a argamassa produzida com RCD (T2) e a argamassa mista (T4) obtiveram altos valores de absorção devido a presença de RCD (KRUGER, 2020). Por obter uma diferença entre as granulometrias e, conseqüentemente, maiores áreas de superfícies específicas, a presença de vazios foi maior na argamassa mista (T4). Contudo, não é possível identificar as causas para o comportamento da argamassa produzida com cinza pesada (T3), conforme os parâmetros utilizados nesta pesquisa.

Na Figura 16, pode-se observar os vazios existentes na superfície do bloco T4. Trata-se de vazios isolados de forma arredondada, essas características são típicas de vazios de ar incorporado.

Figura 16 - Representação visual dos índices de vazios no bloco com agregados mistos

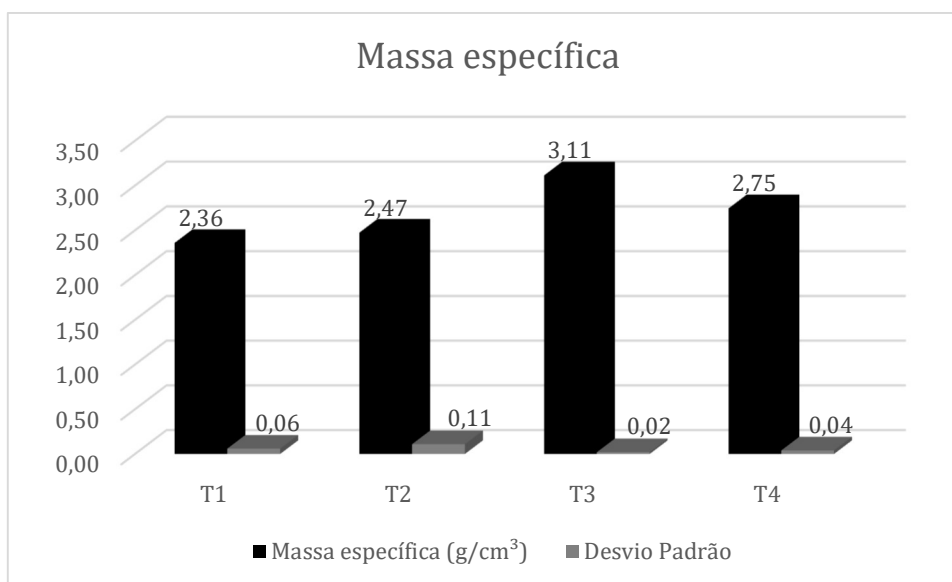


Fonte: Autor (2022).

Percebe-se vazios típicos de ar incorporado, que correspondem aos vazios originados pela entrada de ar no interior das argamassas que podem favorecer a trabalhabilidade e atuar de forma negativa em relação às propriedades mecânicas (JOICHEM, 2012; MANSUR E MANSUR, 2006; NEVILLE, 1977).

Os resultados do ensaio de massa específica estão apresentados no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Resultados Massa específica - CP's



Fonte: Autor (2022).

De acordo com a ABNT NBR 8953 (2015), utilizada para concretos estruturais, tem-se como concretos normais aqueles que apresentam massa específica variando entre $2,0\text{g/cm}^3$ e $2,8\text{g/cm}^3$, concretos leves os que estão abaixo dessa faixa e pesados os que estão acima.

Baseado na norma supracitada, pode-se inferir que a argamassa produzida com areia natural (T1), a argamassa produzida com RCD (T2) e a argamassa mista T4 possuem características normais. A argamassa produzida com cinza pesada (T3) apresentou maior valor de massa específica, influenciadas pela elevada massa específica da cinza pesada utilizada na pesquisa (Tabela 1), aproximando da classificação de argamassa pesada, já que seu valor ultrapassou a faixa de 2,8 g/cm³. De forma complementar, o peso de uma unidade dos blocos produzidos é apresentado na Tabela 5.

Tabela 4- Peso dos blocos

Amostra	Pesos (g)
T1	6599,5
T2	6480,5
T3	7449,5
T4	7056,5

Fonte: Autor (2022).

É possível observar na Tabela 4, que as amostras de maior peso foram as compostas por cinza pesada (T3 e T4), que apresentaram maior massa específica, corroborando com o Gráfico 9. Na construção, o peso dos elementos é aplicado no carregamento utilizado para os cálculos estruturais, de acordo com a ABNT NBR 6120 (2019). Com isso, é necessário elementos leves para proporcionar carregamentos menores e, conseqüentemente, estruturas mais esbeltas e econômicas. Nesse sentido, o bloco T2 apresenta a vantagem de ser mais leve.

4.2.4 Avaliação comparativa qualitativa dos principais impactos ambientais dos produtos (blocos)

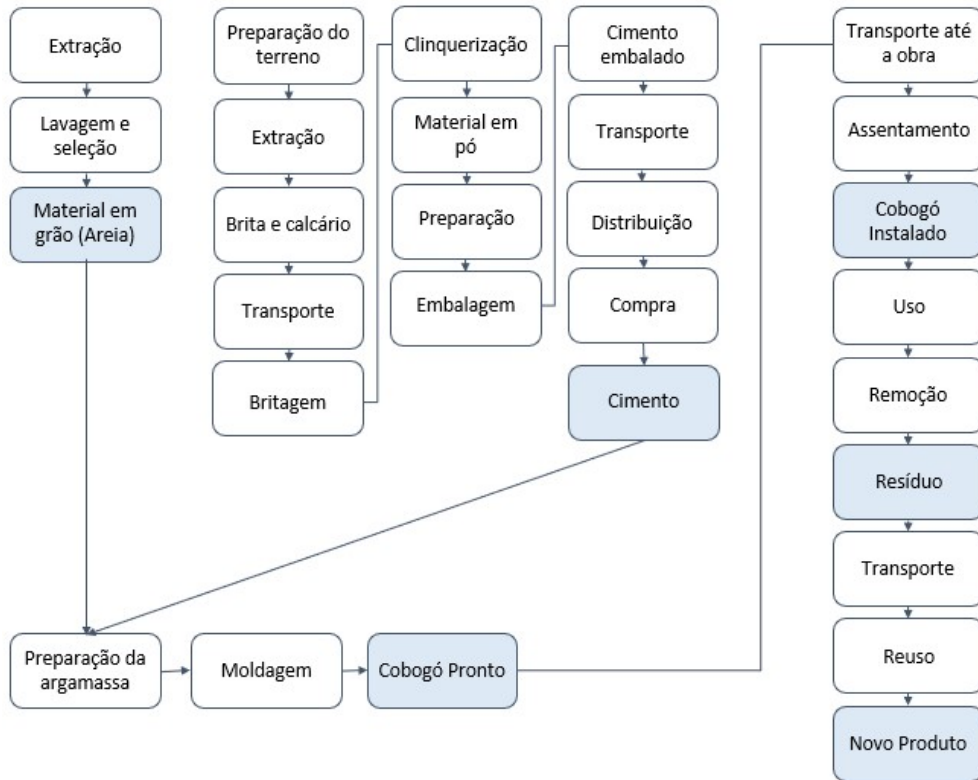
O processo de fabricação de um bloco vazado (cobogó) passa por várias etapas de acordo com os materiais utilizados. Comum a todos os traços, o cimento Portland consumido é obtido da extração da rocha calcário, argila e minério de ferro, que na indústria passa por britagem para redução do material rochoso. Em seguida, passa pelo processo de Clinquerização, no qual é realizada a queima em fornos rotativos, que utilizam como fonte de energia coque de petróleo (SILVA, 2017), com temperaturas de até 1450°C (BLUMENSCHHEIN e MAURY, 2012). Durante esse processo, é gerado e emitido dióxido de carbono (CO₂). Em seguida, o material é moído, adicionado sulfato de cálcio, e na forma de pó é embalado e comercializado. Com isso, a principal saída do fluxograma (o que é gerado) dos processos construtivos se torna a emissão

de gases para a atmosfera, com as empresas de cimento correspondendo cerca de 3% das emissões mundiais de gases de efeito estufa e por volta de 5% das emissões de CO₂, além de partículas finas dispostas no ar que geram impactos para a saúde humana, de acordo com a Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento (CSI, 2002 *apud* BLUMENSCHHEIN e MAURY, 2012).

Ademais, os agregados reciclados apresentam processos diferentes daqueles necessários para obtenção da areia natural, que é extraída de leitos de rios, lavada, peneirada e seca. Entretanto, os materiais residuais, são coletados e processados por aparelhos mecânicos utilizando energia elétrica. Com isso, pode-se associar a utilização de areia à redução e à mudança de espaços naturais, principalmente, onde a extração é realizada em grandes quantidades. De acordo com o relatório divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 2014, estima-se que o consumo global de areia é de cerca de 40 bilhões de toneladas por ano.

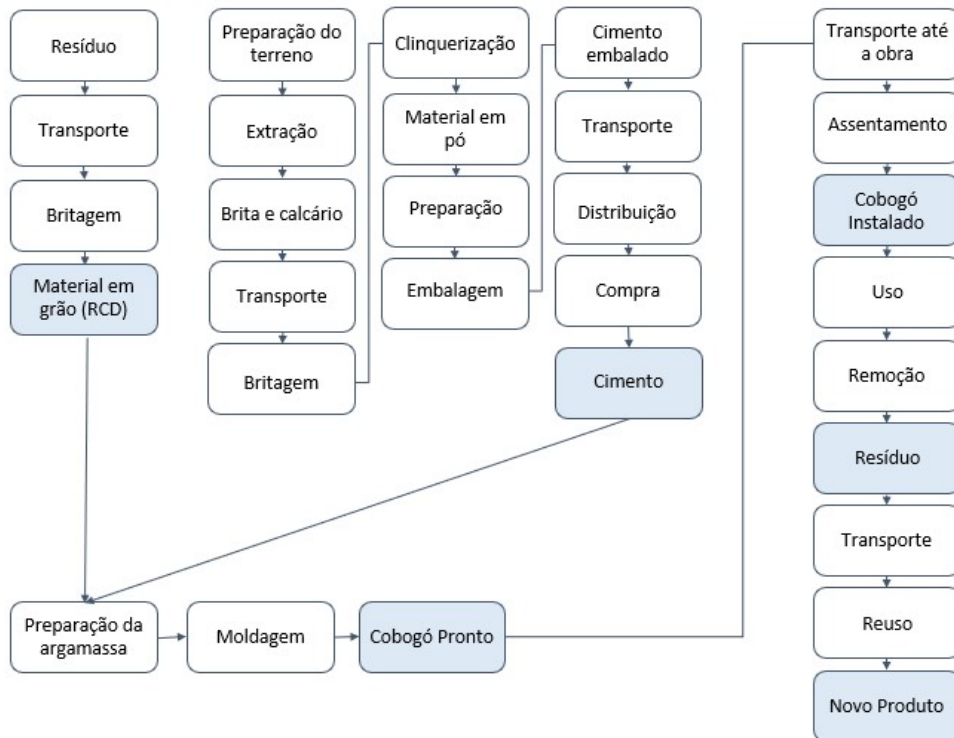
Vistos os processos envolvidos na produção do cimento e agregado miúdo, principais constituintes dos blocos produzidos, volta-se à análise para o processo de fabricação do bloco (cobogó) e a sua devida instalação. Nessa análise, considerou-se também o fim do ciclo de vida, com a sua remoção e reutilização dos descartados para a produção de novos artefatos para a construção civil. Dessa forma, são apresentados fluxogramas dos processos necessários para produzir e utilizar blocos com uso de areia natural como agregado (Figura 17), com o uso de RCD (Figura 18), com o uso de cinza pesada (Figura 19) e com o uso combinado de RCD e cinza pesada (Figura 20).

Figura 17 – Fluxograma dos processos de produção do bloco com areia.



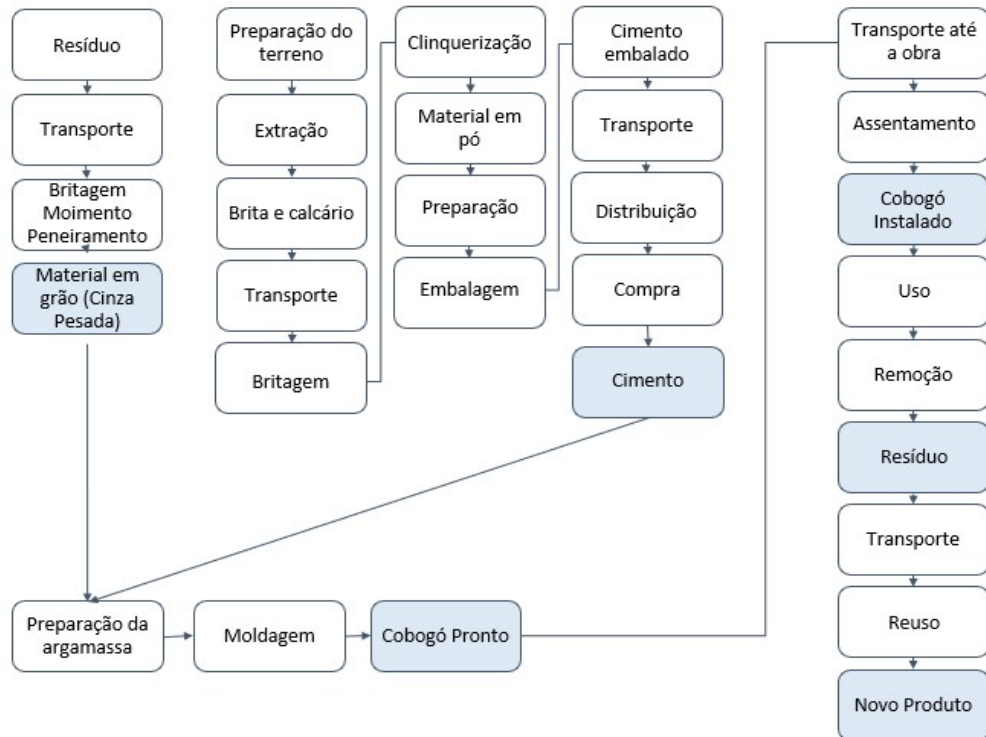
Fonte: Autor (2022).

Figura 18 - Fluxograma dos processos de produção do bloco com RCD.



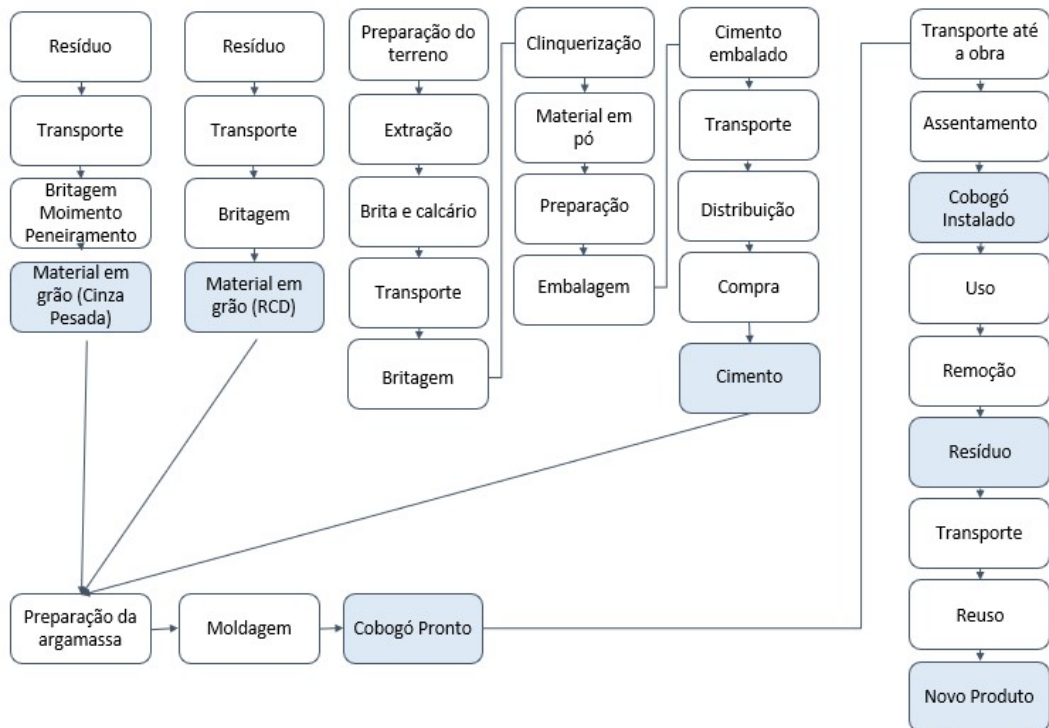
Fonte: Autor (2022).

Figura 19 - Fluxograma dos processos de produção do bloco com cinza pesada.



Fonte: Autor (2022).

Figura 20 - Fluxograma dos processos de produção do bloco com RCD e cinza pesada.

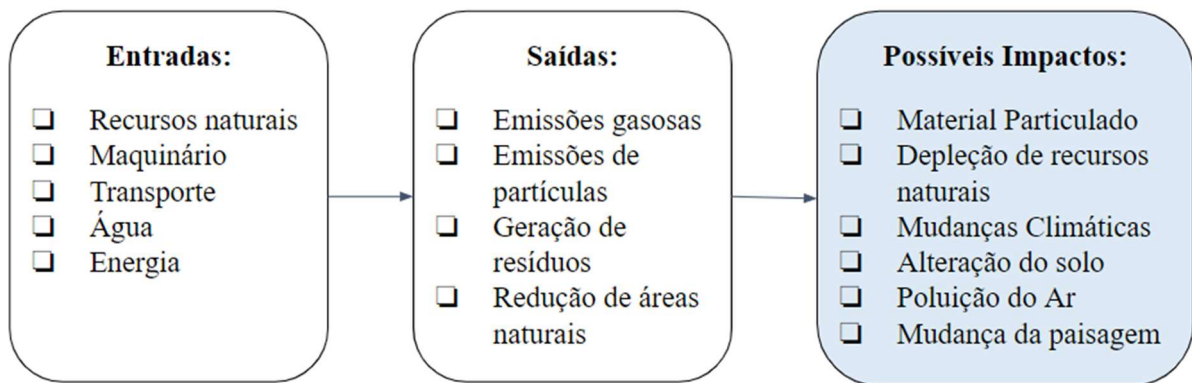


Fonte: Autor (2022).

É possível observar que o principal impacto gerado na produção e utilização de blocos vazados é a liberação de CO₂ originadas pelo transporte necessário em todas as etapas.

A partir dos processos de construção sintetizados nos fluxogramas acima, elaborou-se um segundo fluxograma (Figura 21) contendo as entradas para a criação dos blocos (atividades e componentes necessárias para a produção do artefato), as saídas geradas durante o processo (o que é gerado em decorrência das atividades realizadas) e os possíveis impactos gerados, de acordo com a NBR ISO 14040 e a NBR ISO 14044.

Figura 21: Fluxograma de Entradas, Saídas e Possíveis impactos dos blocos convencionais com areia.



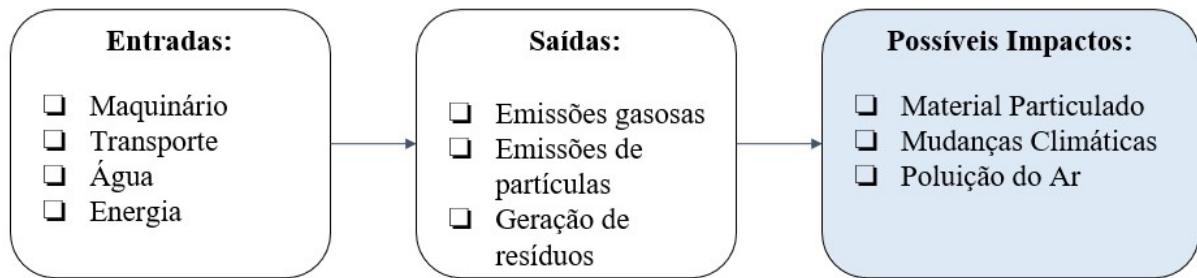
Fonte: Autor (2022).

Conforme a Figura 21, tem-se os impactos que a produção de um bloco produzido com traço convencional (areia natural) causa ao meio ambiente. Vale ressaltar que a cada etapa do processo de construção há uma geração de impactos negativos ao meio ambiente (ASHBY, 2002; ASHBY, 2011; NELSON, 2018; THOMPSON, 2020).

Pode-se afirmar que a utilização do cimento traz consigo uma elevada liberação de CO_2 , contribuindo com a poluição do ar e mudanças climáticas, juntamente com os transportes necessários durante todo o processo. Somado a isso, o uso da areia na composição do artefato, pela necessidade de extração de matéria-prima, contribui para a depleção dos recursos naturais, alteração do solo e mudanças das paisagens. A geração de resíduos no final de todo o processo, antes do reuso, assim como, durante todo o processo, podem gerar materiais particulados que se espalham pelo ambiente.

Por outro lado, é possível visualizar no fluxograma da Figura 22, que a utilização de resíduos diminui a geração de impactos, visto que não necessita extrair matéria-prima da natureza para o uso como agregado, assim evitando os possíveis malefícios relacionados a essa extração.

Figura 22: Fluxograma de Entradas, Saídas e Possíveis impactos dos blocos com resíduos.



Fonte: Autor (2022).

Dessa forma, a utilização de resíduos, que possuiriam destinos inadequados ou seriam inutilizados, para gerar novos artefatos é um fator positivo ecologicamente, já que reduz os impactos não só ao meio ambiente, mas também à população. É válido salientar que, essa etapa de avaliação de impactos antecede estudos mais aprofundados como a análise do ciclo de vida, onde é possível quantificar e realizar a análise crítica dos produtos. Portanto, recomenda-se essa ferramenta para avançar na análise do impacto ambiental desses produtos.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, a influência da utilização de resíduos como agregados na produção de blocos vazados decorativos foi analisada pelas propriedades do estado fresco e do estado endurecido das argamassas, como também através da verificação dos impactos gerados ao meio ambiente durante o processo de fabricação dos elementos.

Através do ensaio no estado fresco, foi perceptível que a argamassa produzida com cinza pesada obteve espalhamento maior com característica autonivelante e a argamassa produzida com RCD apresentou o menor diâmetro da argamassa influenciada pelo teor de material pulverulento e pela maior área de superfície específica das partículas, assim proporcionando uma trabalhabilidade menor em relação às demais.

No estado endurecido, verificou-se que a resistência mecânica da argamassa produzida com RCD e da argamassa produzida com cinza pesada apresentou resultado duas vezes superior à argamassa convencional produzida com areia natural. No entanto, observou-se índices de vazios e absorção de água elevados para a argamassa com RCD. Além disso, foi possível concluir que a utilização de argamassas com resíduos mistos, também obteve resistências superiores à da argamassa produzida com areia e próximas às argamassas com resíduos separados.

Por meio da análise dos processos de obtenção dos blocos vazados decorativos, foi visto que a utilização de resíduos atenua os impactos ambientais, diminuindo a depleção de recursos naturais, alterações do solo e mudanças na paisagem, favorecendo a fabricação de artefatos ecoeficientes.

De modo geral, foi verificado que é viável a utilização de RCD e cinza pesada para a produção de blocos, como também a utilização de argamassa mista, no qual as dosagens devem respeitar as características de cada tipo de resíduo.

5.1 Sugestões de trabalhos futuros

- Realizar comparativo com relação água/cimento variável.
- Analisar a aplicação da argamassa com agregados reciclados de RCD e cinza pesada para outras utilidades.
- Influência do controle e gestão de RCD nas propriedades da argamassa.
- Utilização dos resíduos na fabricação de concretos.
- Realizar a avaliação do ciclo de vida.
- Estudo da influência da absorção de água das partículas de cada agregado.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F. & JOHNSON, K. “Materials and Design – the Art and Science of Materials selection in Product Design”, Butterworth Heinemann, Oxford, UK, 2002

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. Materiais e Design, Arte e Ciência da Seleção de Materiais no Design de Produto, Elsevier, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. – ABRELPE. São Paulo, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 14040** - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281**: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16541**: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16973**: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RCD - ABRECON. Relatório pesquisa setorial 2014/2015. São Paulo, 2015.

BIGOLIN, M; FILHO, L.C.P.S. Desenvolvimento de materiais de construção mais sustentáveis, foco em matrizes cimentícias: uma revisão sistemática. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Brasil, 2013.

BLUMENSCHNEIN, R. N; MAURY, M. B. Produção de cimento: impactos à saúde e ao meio ambiente. *Sustentabilidade em Debate*, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

CAROLINO, et al. Utilização de resíduo de construção para produção de cobogó de argamassa cimentícia. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7. São Paulo, 2021.

CONAMA. Resolução 307, de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de jul. 2002.

CORONA, E; LEMOS, C. A. Dicionário de Arquitetura Brasileira. Artshow Books, São Paulo, 1989.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ME 194/98 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1998.

DUDEQUE, Marco *et al.* Filtro de Luz: Uma investigação projetual baseada na construção de cobogós. 2011.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION: TURNER FAIRBANK HIGHWAY RESEARCH CENTER. User guidelines for waste and by-product material in pavement construction. FHWA-RD-97-148. United States Department of Transport. 1998.

GANESAN, T.P., RAMAMURTHY, K., “Behavior of concrete hollow-block masonry prisms under axial compression”, *Journal of structural engineering*, v. 118, julho, 1992.

GENECCO, V.M; MATANNA, L. Bim para Gestão de Resíduos na Construção Civil. *Mix Sustentável*. Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 183-184. 2019.

JOCHEM, F. L. Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de rcd: características físicas e propriedades da microestrutura. Universidade Federal de Santa Catarina programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2012.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção**. Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção. Salvador, Brasil, p. 27–45, 2001.

KRUGER *et al.* Influência do teor de material pulverulento (<75µm) do agregado miúdo de resíduos de construção e demolição em argamassas de cimento Portland. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, Paraná. Brasil, 2020).

LEANDRO, R.P. Estudo laboratorial acerca da possibilidade de aproveitamento da cinza pesada de termelétrica em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis, Universidade Federal de Uberlândia, São Carlos, 2005.

LEITE, M. B. Avaliação das Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. Porto Alegre, 2001. 270f. Tese Doutorado em Engenharia – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, M.Sc. Salomon M. Problemas geradores pelo entulho. A CONSTRUÇÃO, [s. l.], v. 2653, n. 9, p. 119, 1998.

LIMA, J. A. R. Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. São Carlos - SP, 1999.

LOVELL, C. W.; KE, T. C.; HUANG, W. H.; LOVELL, J. E. Bottom ash as a highway material. *Transportation Research Record*, n. 1310, p. 106-116. 1991.

MANSUR, A. A. P.; MANSUR, H. S. Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico). 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu - PR, 15 a 19 de novembro 2006.

MIRANDA *et al.* A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil 1986 – 2008. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71. 2009.

NAUMOFF, Alexandre Feraz; PERES, Clarita Schwartz. Reciclagem de matéria orgânica. In: D'ALMEIDA, Maria L. O.; VILHENA, André. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

NELSON, A. Z. Extending Yield-Stress Fluid Paradigms, *Journal of Rheology* 62, 357, 2018.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. Tradução: Salvador E. Giamusso, 2 ed. rev. Atual, São Paulo: Ed. PINI, 1997.

OLIVEIRA, J. J. A. Análise teórica da deflexão de vigas de concreto com agregados reciclados de RCD. Universidade Estadual de Feira de Santana. Bahia, 2018.

PEREIRA, J. A. R. Geração de resíduos industriais e controle ambiental. Universidade Federal do Pará; Pará, 2014.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE – PNUMA. Quênia, 2014.

QUARCIONI, Valdecir Ângelo; CINCOTTO, Maria Alba. Influência da cal em propriedades mecânicas de argamassas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, Santa Catarina, 2005.

QUEIROZ, Rita Flávia Régis *et al.* Análise da capacidade de suporte em camadas granulares de pavimentos com adição de RCD. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. Brasil, 2020.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas. Boletim Técnico 233, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

ROCHA, J. C.; MALIK, C.; POZZOBON, C.; MAIA, M. S.; MAGRI, L.; XAVIER, S. M. T. Reaproveitamento das cinzas pesadas do Complexo Jorge Lacerda na elaboração de materiais de construção: aspectos tecnológicos e ambientais. In: XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu – Paraná. 1999.

ROCHA, V. A. M. Caracterização de Betão de elevado desempenho reforçado com fibras incorporando pó de vidro. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

SANTOS, L. C. Redução de temperatura através da aplicação de princípios físicos em cobogós. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia Recursos Naturais. Campina Grande, 2017

SILVA, E. R. Uso do coque de petróleo como combustível nos fornos de calcinação. Centro Universitário de Formiga. Minas Gerais, 2017.

SIQUEIRA, J. S. Reciclagem de resíduo a partir de cinzas de carvão mineral: produção de argamassas. 2011. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

THOMPSON, R. L.; MENDES, P. R. S. Rheological Material Functions at Yielding. Journal Of Rheology 64, 615, 2020.

TRACTEBEL ENERGIA. Fluxo Básico do Processo de Geração de Energia Térmica. Diretoria de Produção de Energia – Central de Manutenção de Serviços. Santa Catarina, 2002.

VIEIRA, Antenor; BORBA, Cristiano; RODRIGUES, Josivan. Cobogó de Pernambuco. Primeira Edição. Recife: Josivan Rodrigues, ano 2012.

ZOTTI, Amanda. A reutilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na Construção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2022.

PEDROZO, R. F. E. Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Abril, 2008.

RIBEIRO, F.; NUNES, S. Betões de Elevado Desempenho Reforçado com Fibras. Encontro Nacional Betão Estrutural – BE2012. Faculdade de Engenharia do Porto. Outubro, Portugal, 2012.

APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

FLOW TABLE TEST

Tabela 5: Medidas do diâmetro de espalhamento na mesa de consistência

RESULTADOS ABERTURA DAS ARGAMASSAS				
Traço	Medição 1 (cm)	Medição 2 (cm)	Medição 3 (cm)	Abertura Média (cm)
T1	29,00	29,00	29,00	29,00 ± 0,00
T2	23,00	22,00	21,00	22,00 ± 1,00
T3	35,00	34,00	34,00	35,00 ± 0,58
T4	29,00	29,00	29,00	29,00 ± 0,29

Fonte: Autor (2022).

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Tabela 6: Resultados do ensaio de Resistência à Tração na Flexão.

RESULTADOS DOS ROMPIMENTOS DOS CORPOS DE PROVAS			
Traço	CP's	Resultado (MPa)	Média das resistências (MPa)
T1	a	3,80	4,13 ± 0,42
	b	4,60	
	c	4,00	
T2	a	6,60	5,90 ± 0,66
	b	5,80	
	c	5,30	
T3	a	6,50	5,90 ± 0,56
	b	5,40	
	c	5,80	
T4	a	5,90	5,73 ± 0,47
	b	6,10	
	c	5,20	

Fonte: Autor (2022).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Tabela 7: Resultados do ensaio de Resistência à Compressão – CP's

RESULTADOS DOS ROMPIMENTOS DOS CORPOS DE PROVAS				
Traço	CP's	Resultado (MPa)	Média por traço (MPa)	Média das resistências (MPa)
T1	a	12,06	11,48	12,13 ± 0,81
		10,89		
	b	13,14	12,81	
		12,48		
	c	12,66	12,12	
		11,57		
T2	a	28,08	28,31	26,29 ± 1,61
		28,53		
	b	25,47	25,68	
		25,88		
	c	24,75	24,89	
		25,03		
T3	a	23,96	25,89	25,52 ± 1,01
		25,46		
	b	26,31	26,32	
		27,00		
	c	25,64	24,36	
		25,68		
T4	a	23,04	21,64	21,01 ± 1,39
		21,51		
	b	21,77	22,24	
		21,62		
	c	22,85	19,14	

19,14

Fonte: Autor (2022).

Tabela 8: Resultados do ensaio de Resistência à Compressão – Cobogós

RESULTADOS DOS ROMPIMENTOS DOS COBOGÓS			
Traço	CP's	Resultados (MPa)	Média das Resistências (MPa)
T1	a	3,00	2,90 ± 0,14
	b	2,80	
T2	a	4,90	4,30 ± 0,85
	b	3,70	
T3	a	4,40	3,85 ± 0,78
	b	3,30	
T4	a	2,20	3,25 ± 1,48
	b	4,30	

Fonte: Autor (2022).

ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICES DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Tabela 9: Resultados do ensaio de Absorção de água, Índices de vazios e Massa específica.

RESULTADOS ABSORÇÃO, ÍNDICES DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA							
Traço	CP's	Absorção (%)	Absorção média (%)	Índices de vazios (%)	Média de índices de vazios (%)	Massa específica (g/cm³)	Média massas específicas (g/cm³)
T1	a	13,04	12,77 ± 0,30	23,23	23,14 ± 0,16	2,32	2,36 ± 0,06
	b	12,81		22,96		2,33	
	c	12,45		23,24		2,43	
T2	a	15,85	16,24 ± 0,40	27,07	28,66 ± 1,41	2,34	2,47 ± 0,11
	b	16,65		29,78		2,55	
	c	16,23		29,12		2,53	

Traço	CP's	Absorção (%)	Absorção média (%)	Índices de vazios (%)	Média de índices de vazios (%)	Massa específica (g/cm³)	Média massas específicas (g/cm³)
T3	a	13,42		29,56		3,13	
	b	13,47	13,42 ± 0,05	29,40	29,46 ± 0,09	3,09	3,11 ± 0,02
	c	13,36		29,42		3,12	
T4	a	16,33		30,67		2,71	
	b	16,83	16,54 ± 0,26	31,54	31,23 ± 0,49	2,74	2,75 ± 0,04
	c	16,46		31,48		2,79	

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10: Peso dos Cobogós

Amostra	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Média dos Pesos (g)
T1	6622,00	6577,00	6599,5 ± 31,82
T2	6518,00	6443,00	6480,5 ± 53,03
T3	7594,00	7305,00	7449,5 ± 204,35
T4	7024,00	7089,00	7056,5 ± 45,96

Fonte: Autor (2022).