

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**VALDERICE HERTH JUNKES**

**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL E INDÚSTRIA QUÍMICA**

**DISSERTAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**VALDERICE HERTH JUNKES**

**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL E INDÚSTRIA QUÍMICA**

**Civil construction and chemical industry waste into concrete blocks  
production**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Giane Gonçalves Lenzi  
Coorientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

**PONTA GROSSA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa**



VALDERICE HERTH JUNKES

**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL E INDÚSTRIA QUÍMICA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 10 de Fevereiro de 2023

Dra. Giane Goncalves Lenzi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Angelo Marcelo Tusset, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fernando Henrique Lermen, Doutorado - Universidade Estadual do Paraná (Unespar)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 10/02/2023.

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar a vida, uma família, pessoas incríveis e me guiar por caminhos difíceis para que eu aprenda a cada dia confiar em sua graça e aumentar a minha fé. Em tudo dou graças.

A minha família pelo apoio e amor incondicional que me fornecem mesmo com todas as dificuldades que surgiram ao longo destes dois anos, em especial minha mãe Luzia, minha avó Tomazia e Meus irmãos Valdirene e Cauã Henrique por serem o maior exemplo de persistência e perseverança, eu amo muito vocês.

A você Maricley, por ter sido a primeira pessoa a acreditar que eu realizaria este sonho e mais ainda por ter sido minha incentivadora diariamente, por ter sido luz na minha vida durante muitos momentos difíceis que ocorreram nestes dois anos de mestrado.

Aos meus amigos, que me acompanharam durante este período, pela parceria e ajuda que me deram no decorrer desta caminhada. Em especial, agradeço a Camila e o Fernando, que depois de tantos anos de universidade os encontrei no mestrado, vocês foram fundamentais em cada etapa de desenvolvimento. A todos fiquem certos de que vocês fizeram a diferença para que eu chegasse até aqui hoje.

Agradeço também a todos do Centro Universitário Integrado e dos Laboratórios CMMa da UTFPR-PG e do Centro de Análises da UTFPR-PB, que me receberam ou contribuíram com a realização de todos os ensaios necessários para pesquisa. A caminhada foi muito mais leve devido à colaboração de vocês, muito obrigada.

A minha orientadora, Prof. Dra. Giane Gonçalves Lenzi, pela oportunidade, todos os ensinamentos, paciência e principalmente por acreditar na minha capacidade, por ter sido a maior mestre e a maior colaboradora durante todo este período, sem você nada disso teria sido possível.

A fábrica de artefatos de concreto de Nova Tebas e a prefeitura do Município que gentilmente abriu as portas e me receberam com muita disponibilidade e atenção, em especial aos colaboradores que não mediram esforços na produção de todos os materiais utilizados durante a pesquisa.

Aos membros da banca, que aceitaram o convite e por contribuírem com imensa sabedoria para o enriquecimento deste trabalho. À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e aos professores do PPGEP. E aos demais, sem exceção, que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho e etapa da minha

vida.

Por fim, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por meio de bolsa DS, código de financiamento 001.

## RESUMO

A crescente quantidade de resíduos sólidos urbanos tornam-se um problema para a sociedade devido aos impactos ambientais relacionados ao descarte incorreto. Nesse sentido, surge a demanda por soluções sustentáveis como a reciclagem e a reutilização de resíduos, cumprindo com os objetivos da economia circular e as metas propostas de desenvolvimento sustentável da agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, que trata sobre a produção e o consumo sustentável. Diante deste contexto, o presente estudo visou avaliar os parâmetros de qualidade de blocos de concretos, para a pavimentação, produzidos com a adição de resíduos reciclados da construção civil (concreto e gesso) e da indústria química (lodo de curtume). Para isso, foi primeiramente realizado a caracterização dos materiais por difratometria de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de raios-X por energia dispersiva e análise granulométrica dos agregados, posteriormente, visando avaliar as características do funcionamento dos blocos, foi realizado os ensaios a resistência à compressão, tração na flexão, absorção de água e ensaio de lixiviação. Os resultados indicaram que os blocos de concreto produzidos para pavimentação com adição de resíduos na substituição do pó de pedra e da areia não obtiveram ganhos nos valores de resistência mecânica à compressão e tração na flexão quando comparados com blocos confeccionados com matéria-prima padrão, no entanto, apesar da queda de resistência os mesmos permaneceram apresentando resultados adequados conforme as normas técnicas brasileiras e internacionais. Os blocos produzidos com reciclado de concreto na substituição do pó de pedra obtiveram resultados satisfatórios para uso em pavimentação de ruas após 7 dias de cura do concreto, atingindo valores entre 36,54 MPa e 44,6 MPa para as propriedades citadas, sendo que aos 28 dias obtiveram aumento de 21,4% na resistência. Já os blocos produzidos com gesso apresentaram valores entre 37,03MPa e 39,85MPa após 28 dias de cura, permitindo sua utilização para pavimentação de ruas. Por outro lado, os blocos produzidos com resíduos da indústria química não obtiveram resultados satisfatórios para utilização na pavimentação de ruas. Quanto a absorção de água, notou-se que os blocos com adição de resíduos da construção civil e gesso se mostraram promissores, com valores inferiores a 6% de absorção. Notou-se também que os blocos produzidos com concreto reciclado apresentaram uma melhora de desempenho com uma quantidade de resíduo de 50%, sendo que na análise econômica estes foram os blocos que apresentaram melhores custos benefícios, acreditando que a formulação ótima se encontra em 55,5% de substituição.

**Palavras-chave:** lodo de curtume; pavimentação; resíduos de concreto; economia circular.

## ABSTRACT

The growing amount of urban solid waste becomes a problem for society due to the environmental impacts related to improperly disposal. There is a demand for sustainable solutions such as recycling and reuse of waste, fulfilling the circular economy objectives and the proposed goals of sustainable development of the United Nations 2030 agenda, which deals with the production and sustainable consumption. Based on this context, the present study aimed to evaluate the quality parameters of concrete blocks, for paving, produced with the recycled waste from civil construction (concrete and gypsum) and chemical industry (tannery sludge) added. To achieve this, the materials were characterized by X-ray diffraction, scanning electron microscopy, energy-dispersive X-ray spectroscopy and granulometric analysis of the aggregates. Subsequently, aiming to evaluate the characteristics of the running blocks, tests were carried out on compressive strength, flexural traction, water absorption and leaching test. The results indicated that the paving concrete blocks produced for paving with the addition of residues in the replacement of stone dust and sand did not obtain gains in the values of mechanical resistance to compression and traction in flexion when compared to blocks made with standard raw material, however, despite the drop in resistance, they continued showing adequate results in accordance with Brazilian and international technical standards. The blocks produced with recycled concrete in the replacement of stone dust obtained satisfactory results for use in street paving after 7 days of concrete curing, reaching values between 36.54 MPa and 44.6 MPa for the mentioned properties, and reaching 28 days showed an increase of 21.4% in resistance. The blocks produced with gypsum presented values between 37.03MPa and 39.85MPa after 28 days of curing, allowing their use for street paving. On the other hand, the blocks produced with waste from the chemical industry did not obtain satisfactory results for use in street paving. Concerning the water absorption, it was noted that the blocks with the addition of civil construction waste and gypsum were promising, with values below 6% of absorption. It is also noted that the blocks produced with recycled concrete showed an improvement in performance with a waste amount of 50%, and in the economic analysis these were the blocks that presented the best cost-benefits, believing that the optimal formulation is found in 55.5% replacement.

**Keywords:** tannery sludge; paving; concrete waste; circular economy.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Roteiro das Etapas do Methodi Ordinatio .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 2: Fluxograma de metodologia de pesquisa .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 3: Resultados de MEV/SEM (a) Areia; (b) Concreto.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 4: Resultados de MEV/SEM (a) Gesso (b) Lodo de curtume. ....</b>	<b>58</b>



## LISTA DE FOTOGRAFIAS

<b>Fotografia 1: Processo de moldagem de blocos de concreto na vibroprensa.</b>	<b>51</b>
<b>Fotografia 2: a) Ensaio de resistência à compressão na prensa de ruptura b) Corpos de prova em imersão.</b>	<b>54</b>
<b>Fotografia 3: Testes de lixiviação: a) Amostra padrão; b) Amostra com resíduo de lodo de curtume (realizado em triplicata).</b>	<b>54</b>
<b>Fotografia 4: Aspecto visual dos espécimes 30%. (a) Referência; (b) Resíduos de construção e; (c) Gesso; (d) Lodo de curtume.....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Difractograma de raios-X do (a) Gesso; (b) Lodo de curtume; (c) pó de pedra e (d) Concreto. ....	59
Gráfico 2: Curva granulométrica.....	60
Gráfico 3: Resultados da resistência mecânica (a) compressão e (b) tração-flexão.....	62
Gráfico 4: Resultados da resistência mecânica (a) compressão e (b) tração-flexão.....	64
Gráfico 5: Resultados do teste de lixiviação de Cr 2+ . ....	70
Gráfico 6: Relação da variação de custos e redução da resistência mecânica dos blocos .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado das combinações de palavras-chave.....	44
Tabela 2 - Composição dos materiais para a produção de 65 corpos de prova (10x20x6).....	50
Tabela 3 - Dados do teste de absorção de água.....	68
Tabela 4 - Matérias-primas para produção de um bloco de concreto unitário e os respectivos .....	71
Tabela 5 - Valor referente a substituição do pó de pedra e areia.....	72
Tabela 6 - Variações de redução de custos e resistência mecânica .....	73

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR 10.004/2004. .</b>	<b>24</b>
<b>Quadro 2 - Faixas granulométricas e intervalos de brita .....</b>	<b>33</b>
<b>Quadro 3 - Faixas granulométricas e intervalos das areias .....</b>	<b>34</b>
<b>Quadro 4 - Classificação por módulo de finura .....</b>	<b>34</b>
<b>Quadro 5 - tipos de cimentos disponíveis para comercialização .....</b>	<b>36</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
$Al_2O_3$	Alumina
$C_2S$	Silicato bicálcico
$C_3A$	Aluminato tricálcico
$C_3S$	Silicato tricálcico
CaO	Óxido de cálcio
CDRA	Associação de Reciclagem de Construção e Demolição
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DRX	Difração de raios-X
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva de raios-X
EN	Norma Européia
$Fe_2O_3$	Óxido de ferro
$K_2O$	Óxido de potássio
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MgO	Magnésia
$Na_2O$	Óxido de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PNRS	Política Nacional do Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
RCC	Resíduo de construção civil
RCD	Resíduo de construção e demolição
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício/ Quartzo
SO <sub>3</sub>	Anidrido sulfúrico
TiO <sub>2</sub>	Óxido de titânio

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_i$	Absorção de água por imersão
$f_{ct,f}$	Resistência à tração na flexão
$A$	Área do corpo-de-prova
$b$	Largura média do corpo de prova
$C$	Percentual de redução de custos
$d$	Altura média do corpo de prova
$E$	Erro
$F$	Força máxima
$F(x)$	Dados estimados
$l$	Dimensão do vão entre apoios
MPa	Megapascal
$M_{sat}$	Massa do corpo-de-prova que ficou imerso em água com superfície seca
$M_{seca}$	Massa do corpo-de-prova seco
N	Newton
$n$	Número de pontos amostrados
N/mm <sup>2</sup>	Newton por milímetro quadrado
$R$	Redução de resistência do bloco
$x$	Percentual de resíduo utilizado
$Y$	Dados amostrados
$f_c$	Resistência à compressão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Problematização</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos da pesquisa</b>	<b>19</b>
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
<b>1.3</b>	<b>Justificativa</b>	<b>20</b>
<b>1.4</b>	<b>Delimitação do tema</b>	<b>21</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Economia circular</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Resíduos sólidos</b>	<b>24</b>
2.2.1	Resíduo da construção civil	25
2.2.2	Resíduo da indústria química	26
<b>2.3</b>	<b>Peças pré-moldadas de concreto para pavimentação</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Visão geral e materiais utilizados</b>	<b>29</b>
2.4.1	Materiais utilizados	30
<u>2.4.1.1</u>	<u>Agregados</u>	<u>31</u>
2.4.1.1.1	<i>Agregado graúdo</i>	32
2.4.1.1.2	<i>Agregado miúdo</i>	33
<u>2.4.1.2</u>	<u>Aglomerantes</u>	<u>35</u>
2.4.1.2.1	<i>Cimento Portland</i>	35
<u>2.4.1.3</u>	<u>Adições</u>	<u>37</u>
<b>2.5</b>	<b>Granulometria</b>	<b>38</b>
<b>2.6</b>	<b>Aplicações similares</b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>42</b>
<b>3.1</b>	<b>Enquadramento metodológico</b>	<b>42</b>
<b>3.2</b>	<b>Construção do portfólio bibliográfico</b>	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>Materiais</b>	<b>46</b>
3.3.1	Aglomerantes	46
3.3.2	Agregado miúdo	46
3.3.3	Agregado graúdo	46
3.3.4	Água	46
3.3.5	Plastificante	47
3.3.6	Resíduos	47

<b>3.4</b>	<b>Caracterização das amostras</b> .....	<b>47</b>
3.4.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) .....	48
3.4.2	Difração de raios-X.....	48
3.4.3	Ensaio de granulometria.....	48
<b>3.5</b>	<b>Método</b> .....	<b>49</b>
3.5.1	Dosagem e moldagem dos corpos de prova .....	49
<b>3.6</b>	<b>Ensaio</b> .....	<b>51</b>
3.6.1	Ensaio de resistência mecânica à compressão.....	52
3.6.2	Ensaio de resistência mecânica de tração na flexão.....	52
3.6.3	Ensaio de absorção de água por imersão .....	53
3.6.4	Ensaio de lixiviação .....	54
<b>3.7</b>	<b>Estimativa econômica do custo dos materiais</b> .....	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização de materiais</b> .....	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Resistência mecânica à compressão e tração na flexão</b> .....	<b>61</b>
<b>4.3</b>	<b>Características visuais</b> .....	<b>66</b>
<b>4.4</b>	<b>Teste de absorção de água</b> .....	<b>68</b>
<b>4.5</b>	<b>Teste de lixiviação</b> .....	<b>70</b>
<b>4.6</b>	<b>Estimativa econômica do custo do material</b> .....	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A – Súmula curricular</b> .....	<b>89</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A crescente quantidade de resíduos sólidos urbanos e a falta de destinação adequada desses resíduos tem se tornado um problema para a sociedade. Nesse contexto, há uma demanda por soluções sustentáveis, como reciclagem e reutilização, cumprindo os objetivos da economia circular e as metas propostas para o desenvolvimento sustentável na agenda 2030 da ONU (Organização das Nações Unidas), que trata da produção sustentável e consumo.

A indústria da construção civil é uma dos setores que representa grande relevância para o desenvolvimento das nações, sendo que em 2021, o setor representou crescimento de 7,6% o maior em dez anos (SEBRAE, 2022). Porém, devido ao grande crescimento e sua importância, o setor também é responsável por gerar grande volume de resíduos de construção e demolição sem destinação correta, responsável por promover degradações do meio ambiente, muitas vezes tornando-se irreversíveis (ZHAO *et al.*, 2020).

Na União Européia, em 2016 foram geradas total de 2,5 bilhões de toneladas, dos quais quase um terço do total de resíduos originados são de RCD, representando 923,7 milhões de toneladas (36,4%) (EUROPEAN STATISTICAL OFFICE – EUROSTAT, 2020). Já no Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de limpeza pública e resíduos especiais (ABRELPE, 2018), em 2017 a indústria da construção civil foi responsável por gerar cerca de 45 milhões de toneladas de Resíduos de Construção Civil, correspondendo a aproximadamente 62% de todo o resíduo sólido gerado.

Já o resíduo de gesso acartonado, que também é um resíduo da indústria da construção civil, possui aspectos negativos como o alto consumo de energia para sua fabricação e grande volume gerado, podendo causar impactos negativos ao meio ambiente (GERALDO *et al.*, 2017). O resíduo é gerado durante a mistura da pasta e aplicação do gesso como reboco na construção civil, na produção de componentes pré-moldados e na demolição de edificações (SILVA *et al.*, 2022). Dados apresentados por Ahmed, Ugai e Kamei (2011), demonstram que os resíduos gerados a partir de placas de gesso representam cerca 15 milhões de toneladas por ano em todo o mundo.

Na mesma direção, a indústria química, mais particularmente a indústria do

couro, tem problemas quanto a destinação final dos resíduos gerados. Por exemplo, o lodo de curtume, também conhecidos como lodo de caleiro ou lodo biológico, é um resíduo gerado em grande quantidade no processo de curtimento do couro, caracterizado pela presença de cromo (substância carcinogênica) (KOHARA; BOINA, 2017).

Diante do apresentado, nota-se que ambos os setores são responsáveis pela geração de grande quantidade de resíduos, resultante em crescente preocupação com as questões ambientais relacionadas a extração das matérias-primas naturais não renováveis e na deposição irregular dos resíduos, como consequência leva a sociedade em busca de alternativas para a redução do impacto ambiental (ZHAO *et al.*, 2020). Uma das alternativas encontradas para a redução do impacto ambiental gerado por este setor é a reciclagem que transforma os resíduos em subprodutos úteis para a sociedade (KUMAR; SHRIVASTAVA; GUPTA, 2020).

A reciclagem consiste no processo de reaproveitamento de materiais descartados, buscando transformar os resíduos em subprodutos úteis e reintroduzi-los na cadeia produtiva. Uma dessas soluções é a incorporação desses resíduos reciclados na fabricação de blocos de concreto, que possibilita a economia dos recursos naturais, economia circular, redução do volume nos aterros sanitários, além de contribuir com benefícios sociais e econômicos (HEMALATHA, 2019; ARAÚJO, 2020).

A produção desses blocos de concreto consiste na mistura produzida em fábrica, utilizando método de mistura a seco com prensagem, ou seja, o processo é realizado uma mistura com apenas uma pequena quantidade de água e são posteriormente moldados e compactados por ação de vibração. Esses produtos, ainda permitem uma diversidade de opções de aplicação, entre elas: blocos de pavimentação, blocos de divisória e blocos de piso (MENG; LING; MO, 2018).

Ressalta-se, ainda, que os blocos oferecem recurso de grande valor para o mercado de pavimentação, entre elas sua capacidade estrutural, durabilidade, resistência a derrapagem, drenagem do pavimento, além de permitir a diversidade de cores, formatos, espessuras e densidades (HEMALATHA, 2019). Porém, conforme a sua aplicação, os blocos devem possuir propriedades funcionais, entre elas resistência a tração, resistência a compressão, absorção de água, abrasão, entre outros (MENG; LING; MO, 2018).

Assim, percebe-se a necessidade de reutilizar materiais residuais para a

produção de novos produtos, ou substituição parcial, ou total de matérias-primas nobres, sendo os blocos de concreto uma importante alternativa do mercado mundial. Por outro lado, a substituição destes agregados devem garantir a qualidade e as características principais do produto, ou seja, os materiais devem ser cuidadosamente considerados (ZHAO *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o campo de estudo desta pesquisa enquadrou-se na Engenharia de Produção e está inserida na linha de pesquisa de Gestão do Conhecimento e Inovações, que atua nos sistemas produtivos sustentáveis, buscando promover pesquisas e soluções para sistemas de produção e garantir uma sociedade economicamente sustentável. Desta forma, o presente estudo enquadra-se de acordo com ABEPRO (2021), nas áreas de Engenharia da Sustentabilidade, Engenharia do produto, Engenharia Organizacional e Econômica, visando a minimização da degradação dos recursos naturais, destinação adequada de resíduos, maximizando a produção, por meio de ajustes de parâmetros no processo de produção de blocos de concreto destinados para a pavimentação de ruas.

Quanto as contribuições, nota-se que o estudo resultou em benefícios teóricos e práticos, visto que a composição determinada poderá ser reproduzida em qualquer ambiente que utilize os mesmos parâmetros utilizados na pesquisa e contribui diretamente com a economia circular. Quanto a contribuição teórica, a pesquisa apresenta uma ampla busca bibliográfica e poderá ser utilizada como base para estudos futuros.

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi de avaliar os parâmetros de qualidade de blocos de concretos para a pavimentação produzidos com a adição de resíduos reciclados da construção civil e indústria química.

## **1.1 Problematização**

A partir da revisão sistemática realizada sobre o tema do trabalho, nota-se que existem diversos trabalhos que abordam a produção de blocos de concretos utilizando resíduos reciclados da construção civil. Porém, apesar da grande quantidade de trabalhos que tratam sobre a produção dos blocos a partir de resíduos reciclados da construção civil, percebeu-se ainda a lacuna quanto ao uso dos resíduos provenientes da indústria química, o volume adequado para a adição de resíduos e quanto a avaliação da qualidade dos produtos gerados para a aplicação em pavimentação de

ruas, portanto essas características merecem atenção e investigação.

Desta forma, a contribuição da pesquisa foi avaliar a qualidade de blocos de concreto produzidos com adição de resíduos reciclados da construção civil e da indústria química, buscando a composição adequada de matérias-primas que atendam os pré-requisitos estabelecidos pela norma para então responder a seguinte questão: Como a composição de resíduos reciclados de concreto gesso e lodo de curtume podem ser adicionados na produção de blocos de concreto para pavimentação sem afetar a qualidade do produto final?

## **1.2 Objetivos da pesquisa**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar os parâmetros de qualidade de blocos de concretos, para a pavimentação, produzidos com a adição de resíduos reciclados da construção civil e da indústria química.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar a composição das amostras (resíduos);
- Definir a composição de substituição da areia e pó de pedra por resíduos reciclados de concreto, gesso e lodo de curtume para a produção de blocos de concreto;
- Fabricar os blocos de concreto para pavimentação com e sem (padrão) adição de agregado reciclado;
- Avaliar o desempenho mecânico por meio do ensaio de resistência à compressão;
- Avaliar o desempenho mecânico por meio do ensaio de tração na flexão;
- Avaliar características visuais dos blocos por meio de inspeção de diferenciação de cor e presença de defeitos (aberturas, fissuras);
- Avaliar a absorção de água dos blocos de concreto;
- Avaliar a ocorrência de cromo a partir do ensaio de lixiviação em blocos de concreto produzidos com adição de lodo de curtume;

- Comparar economicamente a produção dos blocos de concreto com a incorporação dos resíduos.

### 1.3 Justificativa

A indústria da construção civil é um dos maiores consumidores de agregados naturais, representando mais de dois terço do consumo agregados naturais em todo o mundo, além de ser responsável por gerar grandes volumes de resíduos provenientes de suas atividades (TATARANNI, 2019). Com isso, devido o crescente aumento da demanda de mercado de construções e pavimentação, torna-se extremamente importante considerar métodos alternativos de redução do uso de matérias-primas naturais durante o processo de produção e métodos ambientalmente corretos para a destinação dos resíduos (SABOO, 2020).

Outra importância para o meio industrial é que o uso de resíduos desta indústria e das demais podem resultar em significativa redução de consumo de agregados naturais, especialmente areia e pedrisco, e conseqüentemente atender a demanda existente por pavimentação, além da redução nas despesas com deposição dos resíduos (SHAMBHARKAR, 2021).

Já no contexto social e ambiental, a relevância deste trabalho está direcionada a redução de resíduos e a economia circular que tem buscado substituir o conceito de fim de vida por redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais nos processos de produção, visando alcançar o desenvolvimento sustentável, garantindo a qualidade dos produtos (MARAFÃO; CORADI, 2021). Nesse sentido reduzindo custos e inserindo os resíduos novamente no processo produtivo, conseqüentemente a redução dos custos, visto que há redução de produtos de origem nobre.

Além disso, este é um dos objetivos propostos de desenvolvimento sustentável na agenda 2030 da ONU (Organização das nações unidas), sendo a ODS 12 que trata da produção e consumo sustentáveis (UN, 2015). Diante deste contexto, e dentro da revisão bibliométrica realizada para este estudo, encontrou-se a lacuna de buscar a quantidade ideal de resíduos para substituição de agregados naturais na fabricação de blocos de concreto para pavimentação, garantindo a qualidade adequada dos produtos, contribuindo no aspecto econômico, social e sustentável, além de contribuir para o meio acadêmico.

## 1.4 Delimitação do tema

A partir dos objetivos traçados, essa pesquisa delimitou-se quanto ao setor econômico, pois foi desenvolvida em uma fábrica de artefatos de cimento, limitada geograficamente na região sul do Brasil, porém por meio das especificações descritas ao longo do trabalho, pode ser reproduzida em qualquer região do mundo desde que seguindo os parâmetros estabelecidos pela pesquisa e a caracterização dos materiais. Quanto ao ramo de atividade, é focada da construção civil.

Em relação ao tema de estudo, o trabalho abordou a economia circular, visando a reutilização de resíduos da construção civil e da indústria química, para a produção de blocos de concreto para a pavimentação, sendo uma importante alternativa para a destinação final dos resíduos. Por fim, é apresentada uma análise de custos por meio da comparação do valor produtivo do bloco de concreto com e sem adição de resíduos.

Ressalta-se ainda, quanto a delimitação do tema, o estudo foi classificado de acordo com ABEPRO (2021), que relaciona os objetivos da pesquisa com as áreas da Engenharia de Produção dentro da Engenharia do Produto, Engenharia Organizacional, Engenharia da Sustentabilidade e Econômica, a qual aborda temáticas relacionadas a processo de desenvolvimento de produto, gestão do conhecimento, planejamento e destinação de resíduos para sistemas produtivos, bem como a gestão de custos.

## 1.5 Estrutura

A presente dissertação foi estruturada em cinco capítulos:

No Capítulo 1 estão descritos a introdução, a problemática, os objetivos, a justificativa e a importância do trabalho.

No Capítulo 2 encontra-se a revisão de literatura, iniciando pela economia circular, resíduo sólido, uma breve descrição sobre os resíduos utilizados nesta pesquisa e os materiais componentes da mistura.

No Capítulo 3 estão descritos os procedimentos metodológicos

No Capítulo 4 estão descritos os resultados obtidos e a comparação com os resultados de outros autores.

No Capítulo 5 estão apresentadas as conclusões sobre o trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo abordou o referencial teórico baseado em pesquisas publicadas em periódicos, dissertações e livros descrevendo conceitos da produção de blocos de concretos para pavimentação de ruas, uso de resíduos e suas características.

### 2.1 Economia circular

A dinâmica populacional, o crescimento do consumo e o aumento da geração de resíduos são provenientes das diversas atividades humanas, tendo maior geração as atividades industriais, sendo um fator de difícil controle e redução (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Segundo Rubio *et al.* (2018), lidar com o aumento da geração de resíduos se tornou mais difícil, devido aos regulamentos e políticas ambientais mais rigorosas.

Segundo o panorama da situação dos resíduos sólidos no Brasil, em 2017 foram gerados cerca 71,6 milhões de toneladas de resíduos urbanos (ABRELPE, 2017). Já as projeções da organização International Solid Waste Association, a geração de resíduos sólidos urbanos será aproximadamente 3,4 bilhões de toneladas, por ano, até 2050 (PUENTE, 2022), sendo que este cenário pode ser atribuído aos sistemas produtivos que não realizam o aproveitamento dos resíduos, portanto, possuem sistemas voltados para o descarte (STUMM, 2019).

Nesse sentido, permanecer com os atuais sistemas produtivos podem trazer danos irreversíveis para a sociedade e é neste contexto que surge a economia circular, que propõe a manutenção do valor dos recursos produzidos por meio de cadeias produtivas e processos integrados que defendem o valor dos produtos, materiais e recursos por mais tempo, de maneira que resulte na minimização da geração de resíduos por meio do aproveitamento (SILVA *et al.*, 2020; OLIVEIRA; SILVA; MOREIRA, 2019).

Segundo Geissdoerfer *et al.* (2017), por meio da economia circular o destino de um material deixa de ser considerado como uma questão de gerenciamento, e passa a ser parte do processo de engenharia do produto, com o objetivo de realizar o reaproveitamento, aumentar a eficiência do uso de recursos, de maneira que passe a alcançar o equilíbrio entre geração, economia, sociedade e meio ambiente.

Rubio *et al.* (2018), ainda afirma que a economia circular busca a viabilidade na reutilização dos resíduos de forma geral (industriais e da construção), para a sua transformação como parte do processo produtivo, portanto, tendo a concepção do material dentro de um fluxo cíclico, possibilitando a trajetória do “berço ao berço”, buscando, a sua inserção na cadeia produtiva.

Desta forma, a mudança de paradigma e o aumento da circularidade no meio produtivo, pode ser quantificado via ferramenta ACV, que consiste em quantificar os potenciais impactos ambientais de produtos e serviços, podendo contribuir para verificar as vantagens do uso da economia circular (LERMEN *et al.*, 2018).

Além disso, de acordo com Monteiro (2018) a economia circular é um modelo que propõe oportunidades de negócios, trabalho colaborativo, aumento do capital, além de considerar novas formas de transações e relações empresariais, influenciando mudanças nas responsabilidades e lucros das organizações. Nesse sentido, um dos principais resíduos sólidos que tem demonstrado capacidade de reaproveitamento, são os resíduos de construção e demolição civil (CRUZ, 2020).

Resíduos de construção civil demonstram grande potencial de uso como matérias-primas para outros produtos de origem nobre (HEMALATHA, 2019). No Brasil, em 2017 foram coletados cerca de 45 milhões de resíduos da construção civil, correspondendo ao índice médio de geração de resíduos de 0,594 kg/hab/dia (ABRELPE, 2017, p. 43) por habitante, sendo que quando mal gerenciado pode acarretar prejuízos de ordem ambiental e social.

Segundo, Matuti e Santana (2019), o descarte incorreto de resíduos da indústria da construção civil tem impactos diretos sobre a sociedade, entre eles: impactos nas condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, prejuízos nas condições de tráfego de pedestres e veículos, obstrução no sistema de drenagem e obstrução de córregos resultando em enchentes, abrigo para espécies de vetores (ratos, baratas, fungos, outros) que podem resultar em doenças respiratórias, epidérmicas, viroses entre outras.

Além disso, a disposição incorreta de resíduos da construção civil e a queima de resíduos nos canteiros de obra, não estão previstas na resolução CONAMA n.º 307 (BRASIL, 2002) e resulta em impacto decorrente da liberação de gases tóxicos, além de prejudicar a qualidade do ar e a saúde da população (ARAÚJO, 2009).

Desta forma, nota-se que o uso dos resíduos deste setor além de apresentar grande potencial de uso é algo necessário, pois apresentam grande número de



impactos para a sociedade. Segundo Liu *et al.* (2019), o uso deste resíduo na economia circular, tem apresentado potencial para à construção sustentável, o *design*, tendência aos blocos modulares, além de poderem ser utilizados como substitutos parciais ou totais de materiais nobres (NAMARAK *et al.*, 2018).

## 2.2 Resíduos sólidos

Resíduos sólidos são materiais resultantes de processos produtivos de transformação ou utilização, provenientes de atividades humanas, animais ou resultantes de fenômenos naturais, cuja sociedade deverá realizar a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010; WANG; CHIN; XIA, 2019).

Segundo a Norma Brasileira 10004: 2004 (ABNT, 2004), esses resíduos são aqueles nos estados sólidos ou semissólidos, que resultantes da produção de produtos ou serviços e ficam incluídos nesta definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento cujas particularidades tornem inviável o lançamento na rede de esgotos ou corpos de água e exijam soluções técnicas e economicamente viáveis. A Norma ainda classifica esses resíduos quanto aos seus potenciais de riscos à saúde pública e ao meio ambiente, para o melhor gerenciamento pelas instituições, conforme a sua composição, características e impacto (Quadro 1).

**Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR 10.004/2004.**

<b>Classificação</b>	<b>Resíduos</b>	<b>Definição</b>
Classe I	Perigosos	São aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade ou que sejam perigosos
Classe II	Não perigosos	Se subdividem em classe IIA e classe IIB. Não se apresentam como inflamáveis, corrosivos, tóxicos, patogênicos, e nem possuem tendência a sofrer uma reação química brusca
Classe IIA	Não inertes	São aqueles que possuem propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água
Classe IIB	Inertes	São aqueles que submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não possuam nenhum de seus constituintes solubilidades a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água

**Fonte: Adaptado de ABNT (2004)**

Por meio das diversas políticas públicas, cujo objetivo é a redução na geração de resíduos e a sua destinação ambientalmente correta, o Brasil tem alcançado grande desenvolvimento em inovações no gerenciamento de materiais recicláveis, com a logística reversa e a coleta seletiva (GLÓRIA; RIBEIRO JUNIOR; SOUSA,

2020). Essas transformações são essenciais, pois contribui com o desenvolvimento sustentável, entre esses resíduos que tem alcançado destaque no cenário brasileiro estão os de origem na construção civil (TOMAZ; MORAES, 2017).

### 2.2.1 Resíduos da construção civil

A Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010), conhecida como Política Nacional do Resíduos Sólidos (PNRS), define resíduos sólidos como “Todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade.” Esse descarte não significa propriamente dito que o resíduo já não possui valor, mas sim, que se deve avaliar alternativas para que seja realizado o reuso do mesmo, visto que o material já não será utilizado em sua forma original.

Exemplos disso são os RCC's (resíduos de construção civil) e RCD's (resíduo de construção e demolição) que são oriundos de obras novas, reformas e demolições, tanto para implantação de novas edificações quanto para reforma e ampliação de edificações existentes, realizadas em ampla maioria por agentes privados. Esses resíduos de acordo com a CONAMA nº 307/2002 são definidos, como:

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 (BRASIL, 2002).

A presente resolução ainda classifica os resíduos, conforme as propriedades e periculosidades, definindo a fração que pode ser reciclada, sendo que a Classe D teve seu texto alterado pela Resolução nº 431 de 24/05/2011. sendo:

Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios.) produzidas nos canteiros de obras;  
Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;  
Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (BRASIL, 2002).

As causas da geração de resíduos e a composição dependem da fonte que o originou, possuindo características bastante heterogêneas, pois seu perfil varia de acordo com a qualidade da mão-de-obra empregada, das técnicas construtivas utilizadas, da matéria-prima aplicada, da presença ou não de programas de qualidade, e uma série de outros fatores sendo responsáveis por grandes impactos no meio ambiente (BARRETO; RIO; GONÇALVES, 2016; GUO *et al.*, 2018).

A Resolução ainda prevê que todos os geradores devem ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2002). Esses resíduos devem ser gerenciados e reinserido no ciclo produtivo de maneira que se minimize os impactos ambientais e econômicos (NAMARAK *et al.*, 2018).

Autores como Wang, Chin, Xia, (2019) e Kumar, Shrivastava e Gupta (2020), citam que uma das alternativas para a minimização dos impactos ambientais e do esgotamento dos recursos naturais é a reciclagem, que transforma resíduos em subprodutos úteis para serem inseridos no ciclo produtivo, como é o caso do bloco de concreto.

### 2.2.2 Resíduo da indústria química

A indústria química é considerada uma das atividades econômicas de maior valor para a economia mundial, tendo alcançado faturamento médio de US\$ 101,7 bilhões em 2020 (ABIQUIM, 2021), e gerando insumos para os mais diversos segmentos, como eletroeletrônicos, automotivo, agronegócio, saúde, cosméticos, entre outros.

Acompanhando este potencial, esta indústria gera grande quantidade de efluentes e resíduos sólidos que apresentam características distintas que necessitam de atenção e intervenções para a destinação final, visto que no processo de tratamentos dos efluentes, há geração de subprodutos sólidos e/ou semi-sólidos como material gradeado, areia, espuma, lodo primário e secundário (DE ANGELI;

BOINA; SIGOLO, 2019). O principal efluente gerado em termos de volume e importância são os lodos.

Entre os lodos, o mais conhecido e com maior quantidade de geração de resíduos, encontra-se o lodo de curtume, também conhecido como lodo de caleiro ou lodo biológico, sendo um resíduo gerado em grande quantidade no processo de curtimento do couro, caracterizado pela presença de cromo (KOHARA; BOINA, 2017).

O Cromo é um composto classificado como altamente tóxico, considerado como carcinógeno, podendo resultar em mutação na sequência do DNA humano, além de ser responsável pela contaminação de corpos d'água e solos quando realizado o descarte incorreto, resultando em graves danos ambientais, bem como perdas financeiras e de imagem para às organizações (WISE; WISE, 2011).

No processo de curtimento de couro o cromo é comumente usado para dar ao couro maior resistência térmica, estabilidade, sensação confortável e propriedades específicas, no entanto, o resíduo possui quantidades significativas deste metal, o que o torna o efluente altamente tóxico e classifica a indústria de curtumes como uma das mais poluentes, que necessita de maiores investimentos em tratamento para a destinação final adequada de seus resíduos (JOSUÉ *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o principal uso deste lodo é o reaproveitamento para fins agrícolas, porém esse uso tem sido reduzido nos últimos anos, devido à necessidade de tratamento para que o produto esteja em conformidade com as instruções de uso (AL-OBAIDI; AL-ANBARI; HASSAN, 2021). Portanto devido à essa redução de uso, faz-se necessário a busca por novas formas de reaproveitamento.

Uma dessas formas é a produção de concreto, que devido o aumento da população exige-se o maior uso de recursos naturais, conseqüentemente resultando em esgotamento destas fontes (CHEN; LI; POON, 2018; AL-OBAIDI; AL-ANBARI; HASSAN, 2021). No entanto, o uso de lodo de esgoto na construção civil é uma técnica relativamente recente e pouco aplicada (MOHAJERANI *et al.*, 2014).

Estudos como de Chen, Li e Poon (2018) e Cheng *et al.* (2019), afirmam que o lodo de curtume pode ser utilizado nos materiais de construção ecológica, como é o caso do cimento, contribuindo para reduzir efeitos negativos decorrentes do aumento das quantidades de lodo, além de reduzir os custos decorrentes do manejo e disposição do mesmo.

### 2.3 Peças pré-moldadas de concreto para pavimentação

Peças pré-moldadas em concreto são elementos produzidos sob medida com características pré-definidas. Entre essas peças, encontram-se os pisos intertravados que são blocos pré-moldados de concreto, conhecidos também como pavers e sextavados e são utilizados como revestimentos, ou seja, são peças que se encaixam umas às outras devido seu formato e material de rejuntamento que não necessitam de argamassa ou de mão de obra especializada (ABNT, 2013).

Farinha e Souza (2011), ainda, afirmam que os pisos intertravados são pequenas peças em concreto pré-moldadas através de vibro-prensas mecânicas ou somente por meio da mesa vibratória. De acordo com o autor, define-se o intertravamento do piso como sendo a capacidade que a peça tem de resistir e transmitir às peças vizinhas os esforços oriundos do tráfego, sejam eles esforços verticais, horizontais, ou de rotação (FARINHA; SOUZA, 2011).

O pavimento intertravado é classificado como flexível, e as formas dos blocos são projetadas para permitir elevada transferência de carga através do atrito entre as peças solicitadas e as adjacentes, que se dá no contato entre as faces, desta forma as faces de cada bloco devem ser produzidas em boa qualidade e paralelas, o que garantirá o travamento (PEREIRA, 2019). O autor ainda cita que o pavimento deve seguir a técnica para assentamento para resistir aos esforços resultantes do tráfego de veículos e do clima, além de permitir aos usuários melhoria nas condições de conforto, economia, rolamento e segurança.

Essas peças ainda apresentam grande resistência, proporcionando maior vida útil ao pavimento, além de fornecer uma boa relação ao custo benefício, porém devem ter sua produção e assentamento realizado de maneira adequada, para garantir os benefícios, ou seja, devem possuir dimensões uniformes, juntas de aproximadamente 3 milímetros preenchidas por areia fina e a compactação deve ser uniforme em todo o revestimento (ABCP, 2010).

A Norma brasileira NBR 9781:2013 (ABNT, 2013), fixa condições exigíveis para a aceitação dos pisos intertravados destinados à pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamento e similares. A mesma estabelece que as peças devem ser fabricadas por processos que assegurem a obtenção de concreto suficientemente homogêneo, compacto e de textura lisa.

Quanto à espessura, a IP-06 (PMSP, 1999), baseado nas normas, recomenda-

se que as peças tenham no mínimo 6 cm de espessura, para pavimentos com tráfego leve, 8 cm para tráfego de veículos comerciais e 10 cm para casos especiais.

Quanto aos requisitos técnicos de resistência a compressão de acordo com a NBR 9781:2013 os valores mínimos exigidos para tráfego leve de veículos é de 35 MPa, já para veículos pesados e especiais é de no mínimo 50 MPa (ABNT, 2013). Nesse sentido ainda, as normas Internacionais como a Australiana AS/NZS 4456.4:2003 define que os valores mínimos exigidos para a resistência a compressão dos pavers são de 25 MPa para veículos leves, já para veículos pesados e especiais é de 60 MPa e para ciclovias/ estacionamento é de 15 MPa (STANDARDS AUSTRALIA, 2003).

Já a norma SANS 1058:2009 da África do Sul define os valores mínimos para a resistência a compressão de 25 MPa para veículos leves e de 35 MPa para veículos pesados (THE SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS, 2018).

Quanto aos requisitos de resistência de tração na flexão, a norma europeia EN:1338 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003) define a resistência à tração na flexão mínima de 3,6 Mpa e de absorção de água de no máximo 6%.

Já quanto as vantagens, Bittencourt (2012), afirma que a utilização de pavimentos intertravados possuem ganhos quando comparado com outras técnicas de pavimentação, como: menos consumo de energia, maior uniformidade dimensional, peças de fácil estocagem, não utiliza derivados de petróleo, permite tráfego logo após a instalação, adaptam-se a diversos locais, grande capacidade estrutural, excelente aparência, alta resistência e outros benefícios.

## **2.4 Visão geral e materiais utilizados**

A produção de blocos de concretos é conhecida na literatura por “concreto a seco”, sendo a técnica utilizada para a fabricação de blocos estruturais, de vedação e de pavimentação. Sua formulação consiste na fabricação a seco, ou seja, a produção com menor quantidade de água empregada que permite a desformar imediata da peça (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; FRASSON JUNIOR, 2007). Ao contrário dos concretos convencionais, que seguem a “Lei de Abrams” em que a resistência do concreto é proporcional a relação água/cimento, no concreto seco ocorre o processo contrário, onde se possui um limite máximo de água a ser colocada na formulação,

para que se alcance a maior resistência. Isto ocorre devido ao fato que maiores proporções de água contribuem com a maior trabalhabilidade da peça, reduzindo os atritos internos entre os grãos da mistura e assim contribuindo para a compactação da mesma (OLIVEIRA, 2004).

Porém, na formulação do concreto seco não se considera a relação água/cimento, mas sim o teor de umidade da mistura, que deve variar entre 5% a 8% da massa total, dependendo do equipamento utilizado no processo produtivo (FERNANDES, 2008). A sua moldagem consiste na utilização de equipamentos denominados como vibro-prensas, que realizam a compactação e a exclusão do ar da mistura, a partir da compressão e à vibração (GOMES *et al.*, 2017). Apesar de a técnica ser relativamente simples, a falta de conhecimento e o despreparado tem gerado um elevado teor de resíduos de blocos de concreto.

Segundo buttler (2007), apesar desta técnica ser simples e permitir o reuso do material, estes agregados passam a ter características inferiores aos agregados naturais, pois passam a ter maior porosidade e elevada absorção de água. Nesse sentido, para utilização do material reciclado é necessário a caracterização quanto a granulometria do material e a dosagem, sendo finalizado com controle de qualidade por meio da determinação de resistência à compressão e absorção de água (GOMES *et al.*, 2017).

Marchiori (2020), ainda complementa que a técnica de concreto a seco ainda difere do concreto convencional devido à elevada coesão, necessitando de energia de compactação e vibração para eliminação dos vazios, sendo que a dosagem deste tipo de concreto pode ser um grande desafio, pois depende diretamente das características dos agregados, características estas que estão diretamente ligadas à compactação das peças, que por sua vez tem grande influência nas características do produto final. Nesse sentido, deve-se levar em consideração o material que será utilizado para a produção.

#### 2.4.1 Materiais utilizados

Os materiais que podem ser utilizados na técnica de cimento a seco, são: agregados graúdos, agregados miúdos, cimento Portland e adições. Sobre os agregados, estes podem ser utilizados os naturais como os casos de areia, britas e pó de pedra e os resíduos que podem ser provindos de diversas fontes.

Independentemente do tipo de agregado, os mesmos devem ser caracterizados quanto a granulometria. Sobre o cimento, ele é o principal ligante da formulação e o trabalho traz o tipo de cimento utilizado na fábrica alvo do estudo.

Nas adições, encontram-se os plastificantes e a água, os quais são elementos fundamentais para a produção de concreto a seco.

#### 2.4.1.1 Agregados

Agregados são os materiais minerais, sólidos, inertes que são classificados de acordo com a granulometria e são utilizados para diferentes misturas com materiais aglomerantes para produção de produtos nobres (TEODORO, 2013). Estes fragmentos são conhecidos como agregados quando usados no concreto e similares, porém para outros usos, podem ter nomes como filer, pedra britada, bica corrida, entre outros (BAUER, 2013). Segundo Costa (2005), os agregados são a principais componentes das massas, módulos de elasticidade e estabilidade do concreto, visto que o material influencia diretamente nas características do material.

Os agregados ainda possuem estrutura granular que ocupa entre 60% a 80% do volume do concreto, sendo os principais componentes da mistura quando relatado sobre a proporção da utilização. Na construção civil normalmente utiliza-se agregados minerais, sendo areia, pedregulho e pedra britada que são de origem de jazidas naturais (MEHTA, MONTEIRO, 2014). Costa (2005), ainda complementa que os agregados desempenham papel importante no concreto, visto que do ponto de vista técnico influência nas propriedades do material, como: retração e resistência ao desgaste por abrasão.

Buttler (2003), afirma que as características do agregado, como granulometria, textura também influenciam nas propriedades do concreto. Nesse sentido, esses agregados são classificados de acordo com a ABNT NBR 7211 (2005), “como graúdos, quando os grãos passam pela peneira de abertura de malha de 152 mm e ficam retidos na peneira de abertura de malha 4,75mm e miúdos quando passam na peneira de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 0,075mm”.

Esta classificação de agregado graúdo ou miúdo influência diretamente sobre as características do concreto, sendo que deve ser avaliado: distribuição granulométrica, forma e textura superficial, presença de substâncias, porosidade do grão, absorção de água, resistência a compressão e módulo de elasticidade. Sendo



que a absorção de água influencia no teor de água total da mistura.

Já a porosidade, forma, textura superficial e a distribuição granulométrica alteram as características do concreto no estado fresco, pois modificam a trabalhabilidade do concreto seco. No estado endurecido, a presença de substâncias podem reagir na hidratação do cimento ou afetar a durabilidade do concreto, podendo resultar em reações químicas. Já a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dos agregados dependem da composição mineralógica, sendo que a porosidade do agregado irá influenciar na resistência mecânica. A distribuição granulométrica ainda afeta as características do concreto endurecido, pois irá alterar a compactação do concreto e assim reduz a resistência do produto final (MARCHIONI, 2012).

No caso de concreto a seco utilizado para produção de peças para pavimentação, são usualmente utilizados os mesmos agregados usados na produção de concreto convencional para canteiros de obras, porém dando uma importância principal para a curva granulométrica dos agregados, pois as mesmas podem alterar as características de desempenhos dos blocos (FERNANDES, 2008).

#### *2.4.1.1.1 Agregado graúdo*

Para a preparação do concreto deve-se escolher o agregado a ser utilizado de maneira adequada, pois no estado fresco ele é um dos principais responsáveis pela trabalhabilidade e pelo custo. Já após a secagem, o mesmo irá influenciar as resistências, estabilidade dimensional e durabilidade do concreto (KATAYAMA, 2016). Para isso, é necessário conhecer o material, pois o mesmo poderá resultar em maior aderência do agregado a pasta de cimento e assim obter a resistência desejada (SILVA, 2000).

Os agregados graúdos são os materiais provenientes de rochas estáveis e são chamados de pedregulhos ou britas, ou ainda a mistura de ambos. Seus grãos passam pela peneira de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,75mm (ABNT, 2005). Na construção civil a pedra britada é o material mais utilizado, e é obtido a partir de rocha ígneas, como o basalto e o granito, por meio de um processo de fragmentação ou fracionamento (CHAGAS, 2010).

A NBR 7211 define as faixas granulométricas em categorias, utilizadas para a comercialização e uso na indústria (Quadro 2).

**Quadro 2 - Faixas granulométricas e intervalos de brita**

Faixa do agregado	NBR 7211		Uso Comercial	
	Limite inferior da faixa (mm)	Limite superior da faixa (mm)	Limite inferior da faixa (mm)	Limite superior da faixa (mm)
Pedra 0	-	-	4,75	9,5
Pedra 1	4,75	12,5	9,5	19
Pedra 2	12,5	25	19	25
Pedra 3	25	50	25	38
Pedra 4	50	76	38	76

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012) e Chagas (2019).

Além da granulometria, para o uso destes agregados deve-se considerar algumas características de qualidade dos agregados, pois os mesmos precisam ser resistentes e limpos, com granulação uniforme (KATAYAMA, 2016), devendo-se avaliar o volume, tamanho e distribuição dos poros, ou seja, sua forma e textura devem favorecer a aderência com a pasta, seu material deve ter boa resistência mecânica, propriedade químicas compatíveis, isentos de substâncias deletérias e possuir propriedades térmicas adequadas.

A ACI 363R-10 (ACI, 2010), recomenda, que o material seja 100% britado e com o mínimo de partículas alongadas e achatadas, devendo a granulometria estar adequada para a mistura a ser utilizada, visando menor consumo de água, quanto as propriedades químicas, as mesmas devem ser compatíveis com as do cimento para que não ocorra ataques externos e deterioração.

Quanto a limpeza do material, ele deve ser limpo para se reduzir a quantidade de pós e substâncias deletérias, permitindo maior ligação do agregado com a pasta formada pelo cimento (MENDES, 2002).

#### 2.4.1.1.2 Agregado miúdo

Agregados miúdos são os materiais provenientes de areia de origem natural ou resultantes da britagem das rochas estáveis, que passam pelas peneiras de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 0,075 mm (ABNT, 2009). Geologicamente a areia é um sedimento inconsolidado de grãos de quartzosos, tendo diferentes granulometrias, por exemplo, as areias grossas são usualmente constituídas de fragmentos de rocha e as areias finas de grãos minerais (AMBROZEWICZ, 2012; CHAGAS, 2019).

A granulometria da areia é definida de acordo com a distribuição do tamanho dos grãos, assim como os agregados graúdos, tendo diversas faixas, que podem ser definidas por meio de peneiramento (CHAGAS, 2019). Porém, a classificação da areia

tem relação com à sua dimensão de grãos, podendo ser classificada pela granulometria ou pelo módulo de finura.

Por meio, do ensaio de granulometria definido pela NBR 6502 (ABNT, 1995), é possível classificar a areia em faixas, sendo: areia fina, média e grossa (Quadro 3).

**Quadro 3 - Faixas granulométricas e intervalos das areias**

Faixa do agregado	NBR 6502		Uso Comercial	
	Limite inferior da faixa (mm)	Limite superior da faixa (mm)	Limite inferior da faixa (mm)	Limite superior da faixa (mm)
Areia fina	0,06	0,2	0,05	0,3
Areia média	0,2	0,6	0,3	1,2
Areia grossa	0,6	2,0	1,2	4,8

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6502 (1995) e Chagas (2019).

Já a determinação do módulo de finura é o valor obtido no cálculo da soma de porcentagens acumuladas mantidas em peneiras padrão e dividindo a soma por 100, possuindo classificação de acordo estes valores (Quadro 4). Este valor caracteriza à medida que o agregado se torna mais fino, e o resultado obtido possui relação com a área superficial do agregado e a quantidade de água necessária para se obter determinada consistência, ou seja, este valor influencia na trabalhabilidade (CHAGAS, 2019).

**Quadro 4 - Classificação por módulo de finura**

Classificação	Faixas granulométricas	Valor do intervalo do módulo
Muito fina	Faixa 1	1,35 - 2,25
Fina	Faixa 2	1,71 - 2,85
Média	Faixa 3	2,11 - 3,38
Grossa	Faixa 4	2,71 - 4,02

Fonte: Adaptado de Bauer (2013).

Para a escolha do agregado miúdo, segundo a ACI 363R-10 (ACI, 2010), deve-se levar em consideração a demanda de água e o seu empacotamento físico, sendo priorizadas partículas arredondadas e lisas, pois necessitam de menor volume de água de amassamento.

Quanto ao melhor módulo de finura indicado para o concreto de alto desempenho para produção de concreto a seco é recomendado o agregado miúdo médio, classificado com módulo de finura de 2,11 a 3,38 (BAUER, 2013).

### 2.4.1.2 Aglomerantes

Aglomerante é o material com função ligante, com características de unir ou aglomerar outros materiais entre si (CHAGAS, 2019). De acordo com o autor, usualmente os aglomerantes são materiais pulverulentos, que se apresentam em forma de pó que ao ser hidratado, resultam em uma pasta, com capacidade de endurecer após a perda da umidade ou devido à reações químicas de endurecimento. Os aglomerantes são utilizados como elemento ativo na composição das pastas, natas, argamassas e concretos.

Além disso, o aglomerante é responsável por realizar a ligação entre a mistura, influenciando nas características do concreto, como: maior ou menor resistência do produto final, maior ou menor porosidade do concreto, trabalhabilidade, entre outras (SOUZA, 2019).

A literatura demonstra que existem vários tipos de aglomerantes, devendo-se classificar de acordo com a sua origem e as reações químicas. Quanto a sua origem, podem ser orgânicos (asfaltos e resinas) e inorgânicos (cal, gesso, cimento Portland), já quanto a sua reação química, podem ser ativos quando ocorre o endurecimento devido à reação (aglomerantes hidráulicos e aéreos) inativos devido à perda natural da umidade (CHAGAS, 2019).

Os principais aglomerantes do mercado são: cimento, cal aérea, cal hidráulica e gesso, sendo que neste estudo o foco será no cimento Portland.

#### *2.4.1.2.1 Cimento Portland*

O cimento é um aglomerante hidráulico em pó obtido pelo processo de queima de clínquer. O clínquer consiste em uma mistura de calcário e argila submetidos a temperaturas elevadas, e que após este processo é realizado o processo seguinte de moagem, sendo adicionado um teor mínimo de sulfato de cálcio, com o objetivo de retardar o tempo de pega, o tempo de reação entre aglomerante e a água (ABNT, 1991). O Aglomerante é capaz de formar uma mistura em forma de pasta que após o processo de hidratação ocorre o endurecimento (SOUZA, 2019).

Sua composição básica é variada, porém, com frequência é utilizado óxido de cálcio (CaO), dióxido de silício/ quartzo (SiO<sub>2</sub>), a alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), com uma pequena quantidade de magnésia (MgO) e anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>)

(GONÇALVES, 2021). Além destes compostos, são encontrados óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e outras pequenas impurezas (OLIVEIRA, 2011). Chagas (2019), ainda afirma que durante o processo de moagem é permitido a mistura de materiais pozolânicos, escórias granuladas e/ou materiais carbonáticos.

Após o processo de homogeneização e pulverização da mistura, ocorre a obtenção do clínquer e dos seguintes compostos: silicato tricálcico ( $\text{C}_3\text{S}$ ), que resulta na resistência do cimento em todas as idades; silicato bicálcico ( $\text{C}_2\text{S}$ ), que fornece ao cimento maior resistência em idades de cura mais avançada; aluminato tricálcico ( $\text{C}_3\text{A}$ ) fornece resistência inicial do primeiro dia (OLIVEIRA, 2011).

Além disso, o cimento requer cuidados no processo de hidratação, pois ocorrem reações químicas simultâneas que influenciam o comportamento da reação, além de depender de outras características, como o tamanho dos grãos, quantidade de água, processo de mistura e temperatura (GRANDE, 2003). Katayama (2016), afirma que a escolha do tipo de cimento depende de várias variáveis, desde a sua produção até o objetivo final, pois as características do mesmo podem influenciar na pega instantânea e até mesmo na falsa pega, portanto podendo influenciar no produto final desejado.

Chagas (2019), descreve que o cimento pode ser classificado de acordo com a sua composição e as adições que o mesmo recebeu durante o processo de fabricação. No Brasil, os principais normalizados e comercializados, são apresentados no Quadro 5.

**Quadro 5 - tipos de cimentos disponíveis para comercialização**

<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
CP I – Comum	Cimento puro, originado da moagem do clínquer, sem nenhuma modificação ou adição, além do gesso (responsável por retardada a pega), geralmente é a base para os demais cimentos.
CP II – Composto	Cimento CP II-Z: Recebe adição de materiais pozolânicos. O concreto produzido com ele é mais resistente a ácidos e atinge uma maior impermeabilidade.
	Cimento CP II-E: Recebe a adição de escória de alto-forno. Possui propriedades de ligante muito resistente, que quando adicionado a moagem do clínquer, melhora a resistência final e durabilidade.
	Cimento CP II-F: Recebe a adição de fíler (material carbonático). Quando adicionado o cimento, torna o concreto e a argamassa mais trabaláveis.
CP III – Alto forno	Cimento onde utiliza-se a escória de alto-forno adicionado ao clínquer moído. Apresenta característica menos porosa, impermeabilidade, resistente a sulfatos e mais durável, sendo mais resistente em ambientes agressivos. Hidratação mais lenta, necessita de ativadores físicos e químicos.

**Quadro 5 - tipos de cimentos disponíveis para comercialização**

<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
CP IV – Pozolânico	Apresenta adição pozolana ao clínquer, não reage a água em seu estado natural. Cura mais lenta, sendo adequado para grandes volumes de concreto e/ou expostas a água e ambientes agressivos.
CP V – Alta resistência inicial (ARI)	Cimento que atinge alta resistência já no primeiro dia, devido à utilização específica de calcário e argila na produção do clínquer, além da moagem mais fina. Apesar da rápida resistência, o CP V continua ganhando resistência até os 28 dias. Indicado para concreto que necessitam desforma rápida.
Cimento Portland Branca (CPB)	Característica marcante devido à cor obtida pelo baixo teor de óxido de ferro e manganês, em condições especiais de fabricação como resfriamento e moagem. Utiliza Caulim no lugar de argila. Utilizado para fins arquitetônicos e rejuntamento de azulejos e usos artesanais devido ao valor elevado.

**Fonte: Adaptado de Chagas (2019).**

Para a produção de produtos pré-moldados e artefatos de concreto o cimento CP V de alta resistência inicial é o tipo de cimento mais utilizado, devido sua rápida desforma e a necessidade de alta velocidade de produção (MARCHIONI, 2012). Segundo Salvador Filho (2007), o uso do cimento de alta resistência inicial na fabricação de blocos, garante o ganho mais rápido de resistência e permite a reutilização dos moldes, o que propicia maior produtividade para a indústria de pré-moldado.

Na literatura encontram-se relatos da produção de blocos de concreto com a utilização de cimento CP-V. Fernandes (2013), afirma que o uso de CP V-ARI é o produto mais utilizado na produção de artefatos de cimento, pois contribui para a redução do número de quebras no manuseio de peças. Baulé (2018), ainda afirma que o uso de cimento CP-V contribui com alta resistência inicial, necessária para a produção de pavers, porém sua cura só atinge os valores considerados suficientes com 28 dias.

#### 2.4.1.3 Adições

Adições são utilizadas para a produção de concreto, afim de melhorar o desempenho da mistura (FOPPA, 2005). Resíduos podem ser utilizados para melhorar propriedades térmicas e junção, já a cal pode ser utilizada para melhorar a eficiência antes da adição de cimento (DANTAS, 2015).

Pode-se, ainda, incluir os plastificantes, que visam conferir maior trabalhabilidade para a massa, mesmo sem adição de grande porcentagem de água (KATAYAMA, 2016).

Mehta (1994), afirma que os plastificantes são aditivos utilizados como

reduzidores de água no concreto. Silva (2010), complementa que os mesmos conferem maior trabalhabilidade ao concreto, assim como reduz a quantidade de água utilizada, aumentando a durabilidade e a resistência do produto final, além de contribuir para evitar fissuras, retrações e tensões térmicas provenientes da hidratação do cimento.

Segundo Katayama (2016), a eficiência do plastificante do concreto depende do tipo escolhido, visto que nem todos reagem da mesma forma, portanto, antes de se realizar a escolha, deve-se avaliar quais propriedades se objetiva melhorar.

Além dos plastificantes, pode-se realizar adições de outros produtos, exemplos disso são os resíduos da construção civil e outros resíduos que podem ser utilizados para a produção de blocos de concreto.

Udawattha, Galabada e Halwatura (2017), que adicionaram a mistura de concreto para produção de blocos de concreto, amostras de solo (resíduos de lama), em conjunto com os agregados, água e cimento. Os traços da dosagem permitiram substituir 5% das partículas finas por resíduos de solo. Namarak *et al.* (2018), adicionou reciclado de concreto, cinza volante e resíduo de carboneto de cálcio a mistura. O agregado foi substituído 100% por agregado reciclado de concreto e os resultados permitiram resistência a compressão de 41,4 MPa aos 28 dias e aumento para 45,3 MPa aos 50 dias, comprovando que o cimento de alta resistência inicial permitiu que a mistura continua ganhando resistência após os 28 dias de cura do concreto.

Kumar, Shrivastava e Gupta (2021a), substituíram agregados naturais por agregados reciclados de concreto, nas proporções de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% em peso e verificou que ao final dos 28 dias os blocos alcançaram resistência a compressão de 48,1 MPa a 54,7 MPa, atendendo a todas as legislações vigentes sobre compressão. Os resultados ainda permitiram visualizar que a absorção de água permaneceu dentro dos valores permitidos na legislação, que é de 6%, sendo que no estudo houve variações de 3,5 a 5,5%. Os resultados ainda permitiram afirmar que a substituição ótima de 45% de agregado graúdo natural e até 100% do agregado miúdo a areia, apresenta bons resultados mecânicos e proporciona uma mistura econômica para pavimentação de ruas.

## 2.5 Granulometria

Granulometria, de acordo com Katayama (2016), é a composição

granulométrica de um agregado, ou seja, é a proporção dos diferentes diâmetros dos grãos que constituem uma amostra, sendo expressa em porcentagem. Essa propriedade é principal parâmetro físico analisado nos agregados, pois os mesmos irão influenciar diretamente na compactidade e na resistência ao esforço mecânico do concreto (TEODORO, 2013).

O fato básico que deve ser observado quando se determina a composição granulométrica de uma mistura sólida, é o ajuste da graduação, pois deve-se evitar o excesso de grãos de um mesmo tamanho, pois quando há o excesso ou a falta de um determinado agregado da graduação desejada, ocorre a falta de trabalhabilidade e um comportamento insatisfatório do concreto (ALVES, 1999).

Coutinho (1999) e Cabral (2007), complementa que a finalidade de se realizar o estudo granulométrico para a composição da mistura de concreto é que a composição permita a maior compactidade possível, visto que quando a granulometria é contínua e com partículas adequadas é possível obter um concreto mais compacto e resistente para a dosagem mínima de cimento, reduzindo paralelamente o risco de segregação.

Nesse sentido, a granulometria de um agregado pode ser determinada pelo peneiramento ou por combinação de peneiramento e sedimentação (ABNT, 2016). No ensaio de sedimentação as porções mais finas do solo são inseridas em um dispersor a uma determinada velocidade de decantação em função da variação da temperatura da solução e da densidade, sendo calculado a proporção da amostra (NEVES *et al.*, 2010).

No peneiramento se determina a quantidade de partículas que passam ou que ficam retidas em peneiras normalizadas, sendo seus valores expressos em porcentagens, além disso, o peso que passa nas peneiras refere-se ao peso seco da amostra e é definido como “porcentagem que passa”, sendo representado no gráfico pela abertura das peneiras (NEVES *et al.*, 2010; GONÇALVES, 2021). A abertura representa o diâmetro dos grãos, sendo atribuído como “diâmetro equivalente”, considerando que as partículas não são esféricas.

## **2.6 Aplicações similares**

Após os dados expostos até a presente seção, notou-se que diversos fatores implicam nos resultados apresentados por blocos de concreto produzidos para



pavimentação de ruas, ou seja, a forma em que se altera a matéria-prima pode afetar diretamente nos parâmetros avaliados como de qualidade ou não do produto. Dentre esses parâmetros estão: a absorção de água, a resistência mecânica a compressão ou tração na flexão, a quantidade de lixiviação de cromo. Nesse sentido, nota-se que conhecer a literatura já publicada é importante para que se possa definir quais dos parâmetros avaliados implicam significativamente no resultado do produto.

Assim, nota-se que os agregados são os principais componentes produtivos do concreto, correspondendo a aproximadamente 80% do peso total dos materiais utilizados na fabricação, podendo afetar diretamente os resultados apresentados pelo bloco (MENG; LING; MO, 2018). Kumar, Shrivastava e Gupta (2020) e Zhao *et al.* (2020), afirmam que a utilização destes agregados podem melhorar ou diminuir as propriedades fundamentais, portanto, quando decidiu-se utilizar formas alternativas de reaproveitamento de resíduos para produção de concreto realizando a adição ou substituição de agregados, deve-se avaliar a influência que irá causar no produto final.

Meng, Ling e Mo (2018), notaram em seu estudo que geralmente a utilização de agregados reciclados influenciam na redução das propriedades fundamentais dos blocos de concreto, como a resistência a compressão, resistência a tração na flexão, maior desgaste a abrasão, maior absorção de água, menor densidade, ou mesmo bloqueando a mistura homogênea de materiais requisitos na produção dos blocos. Hossiney *et al.* (2019) ainda afirma que as reduções de resistência e o aumento de absorção de água ocorre devido às características dos agregados reciclados, que possuem maior porosidade, conseqüentemente influenciando na mistura de concreto e nos parâmetros desejados.

Nesse contexto, estudos como Namarak *et al.* (2018), Abdulmatin, Weerachart e Jaturapitakkul (2019) e Kumar, Shrivastava e Gupta (2020), observaram que quando os resíduos são devidamente separados, processados e utilizados na proporção ideal é possível realizar a substituição total ou parcial dos agregados naturais para a produção de concreto, alcançado resistências de até 54,7 MPa. Porém, apesar dos resultados positivos e de atender as normas brasileiras e internacionais, é possível perceber redução das características fundamentais quando utilizado excesso de resíduos, portanto, sendo necessário a determinação da composição ideal de substituições.

Também foi possível observar que a utilização de resíduos podem ser realizadas em conjunto com outros materiais, como o exemplo apresentado por

Hemalatha (2019), que utilizou resíduos de construção civil em conjunto com resíduos plásticos, porém os resultados apresentaram menores resistências a compressão (4,78-7,74 MPa), justificado devido à má aderência da mistura com o plástico. Já o estudo de Chen, Li e Poon (2018), em que utilizou vidro triturado e cinza de lodo de esgoto, apresentou resultados ótimos de resistência a compressão (24,30-49,0 MPa) e absorção de água (0,45%), atendendo as normas brasileiras e internacionais para pavimentação de ruas. Portanto, sendo possível observar que deve-se avaliar as misturas ideais para cada finalidade de uso, sendo possível utilizar resíduos para a produção de concreto.

Já no trabalho de Wang, Chin e Xia (2019), os autores conduziram as misturas de agregados naturais em conjunto com concreto reciclado grosso e fino, vidro triturado, borracha triturada e resíduo granulado de escória de alto-forno e observaram maior resistência do vidro com o agregado de concreto fino, tendo maior resistência a compressão (21,00-43,45 MPa), menor absorção de água (3,24 a 7,60%) e valores do desgaste a abrasão considerados satisfatórios. Além disso, foi possível observar que a granulometria que apresenta melhores resultados para as substituições, são as do agregado miúdo, ou seja, os agregados graúdos resultam em maiores taxas de absorção de água e queda considerável de resistência a compressão dos blocos de concreto para pavimentação.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 Enquadramento metodológico

O enquadramento metodológico teve como objetivo descrever as escolhas do pesquisador quanto à realização da pesquisa. A respeito da classificação do tipo de pesquisa, este estudo foi classificado de acordo com Gil (2010) nos seguintes aspectos: quanto a natureza dos resultados, quanto aos fins, quanto aos meios e quanto à abordagem do problema.

Quanto ao método de abordagem classificou-se como quantitativa-qualitativa. Quantitativa, pois envolveu coleta e análise de dados, para garantir precisão dos resultados, além da realização de testes mecânicos de compressão e de tração por flexão, de absorção de água e dosagem de materiais reciclados. Qualitativa, pois buscou interpretar os procedimentos e analisar as atividades que envolvem a produção, além de avaliar as características visuais dos produtos a fim de identificar possíveis alterações na cor e características das peças.

Quanto à natureza do seu objetivo, a pesquisa caracterizou-se como exploratória e descritiva. Exploratória, pois procurou proporcionar maior familiaridade com a produção de blocos de concreto intertravados, posteriormente realizaram-se as substituições de agregados miúdos e graúdos para realizar os testes de resistência e absorção, objetivando avaliar o desempenho das peças. Descritiva, pois foi necessário descrever o processo de fabricação e o processo de reciclagem dos resíduos da construção civil e do lodo de curtume.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa classificou-se como Bibliográfica, pois foi realizado uma revisão sistemática da literatura com base em artigos publicados em periódicos, para identificação de lacunas no contexto estudado e construção do referencial teórico da pesquisa seguindo as etapas descritas na construção do portfólio. Documental, visto que foram utilizados relatórios internos da fábrica de Artefatos de Concreto de Nova Tebas-PR. Por fim, estudo de caso, pois investigaram-se os efeitos do uso de resíduos sólidos de gesso, concreto e lodo de curtume, bem como as respectivas dosagens que melhor se adaptam a qualidade esperada dentro de um contexto real, visando conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação.

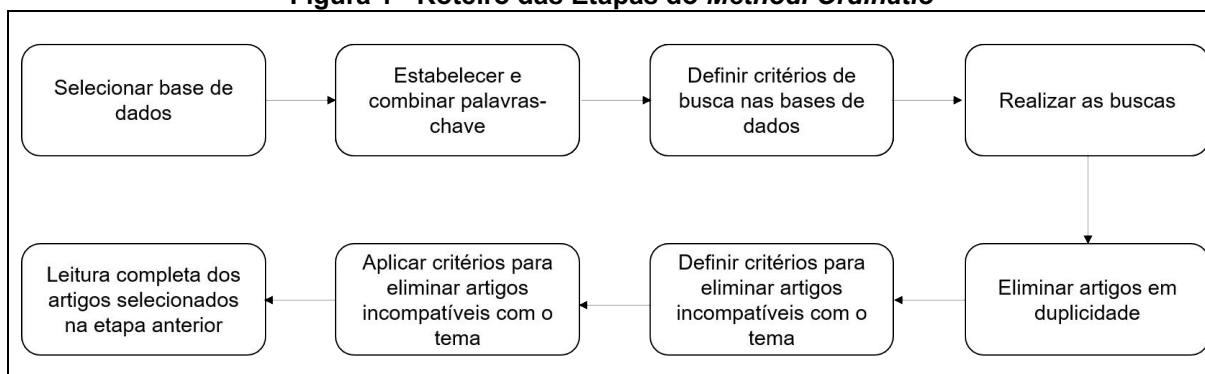
Em relação à coleta de dados, esta foi realizada por meio de dados primários

e secundários. Os dados primários foram obtidos por meio de conversas informais com colaboradores da fábrica e experiência dos gestores que estão diretamente envolvidos no processo de fabricação. Os dados secundários foram obtidos por meio da produção com dosagens específicas definidas em conjunto com o responsável pela fábrica, sendo que posteriormente as peças foram testadas com os tempos de cura do concreto de 7, 14, 28 e 60 dias.

### 3.2 Construção do portfólio bibliográfico

Para construção do portfólio bibliográfico foi utilizado o *Methodi Ordinatio*, proposto por Pagani, Kovaleski e Resende (2015), que considera somente artigos publicados em periódicos, porém a pesquisa foi limitada devido ao baixo número de publicações na área, influenciando nas comparações de resultados. Optou-se também por não realizar a etapa de qualificar os estudos conforme o relatório de citação dos periódicos. A Figura 1 representa o roteiro das etapas do *Methodi Ordinatio*.

**Figura 1 - Roteiro das Etapas do *Methodi Ordinatio***



Fonte: Adaptado de Pagani, Kovaleski e Resende (2015)

A pesquisa foi realizada na base *Web of Sciens*, *Science Direct* e *Scopus*, visto que as mesmas possuem artigos de classificação B2 a A1, conforme o documento 'Considerações sobre Qualis Periódicos' (CAPES, 2016).

A busca foi realizada de julho de 2021 a dezembro de 2022, procurando artigos publicados com um recorte temporal de 2017 a 2022, utilizando combinações de palavras-chave que aparecessem no título, resumo e palavras-chave dos artigos pesquisados. O resultado da busca está apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Resultado das combinações de palavras-chave**

Palavras-chaves	Portal de pesquisa/ Quantidade de artigos encontrados			Total
	Scopus	Web of science	Science Direct	
((“construction waste” OR Sustainability OR “Recycled concrete aggregates”) AND (“paving blocks” OR Pavers OR “concrete floors”))	37	20	438	495
((“recycled waste” OR Sustainability OR “recycled concrete aggregates”) AND (“paving blocks” OR “Concrete floors”))	29	3	24	56
((“Tanning Sludge” AND Sustainability OR “Recycled Concrete Aggregates”) AND (“Paving Blocks” OR Pavers OR “concrete Floors”))	-	48	58	106
<b>Total</b>	66	71	520	657

Fonte: Autoria própria (2023)

Após as buscas foram encontrados 657 artigos, destes 601 artigos foram eliminados. Com o auxílio do *software Mendeley*, foram eliminados 95 artigos porque um mesmo artigo pode estar inserido em base de dados distintas.

Como o foco da análise sistemática foi de buscar artigos publicados em revistas, foram eliminados 42 artigos publicados em Conferências e 12 artigos publicados em livros, resultando em 54 exclusões.

Para cada artigo dos 508 restantes, foram lidos os títulos e os resumos, visando eliminar os artigos incompatíveis com o tema proposto. Desta forma, pela eliminação dos títulos eliminaram-se 388 artigos e pelos resumos 70, sobrando 50 artigos para a análise de conteúdo. Posteriormente, após a leitura completa, foram excluídos 9 artigos por não se enquadrarem no escopo do estudo. Durante a leitura, foi aplicado o método de bola de neve, que consiste em buscar mais estudos dentro dos estudos selecionados, que contribuíssem para o portfólio desta revisão, selecionando um total de 15 estudos. Esses foram avaliados e totalizaram, com os anteriores, um portfólio de 56 artigos.

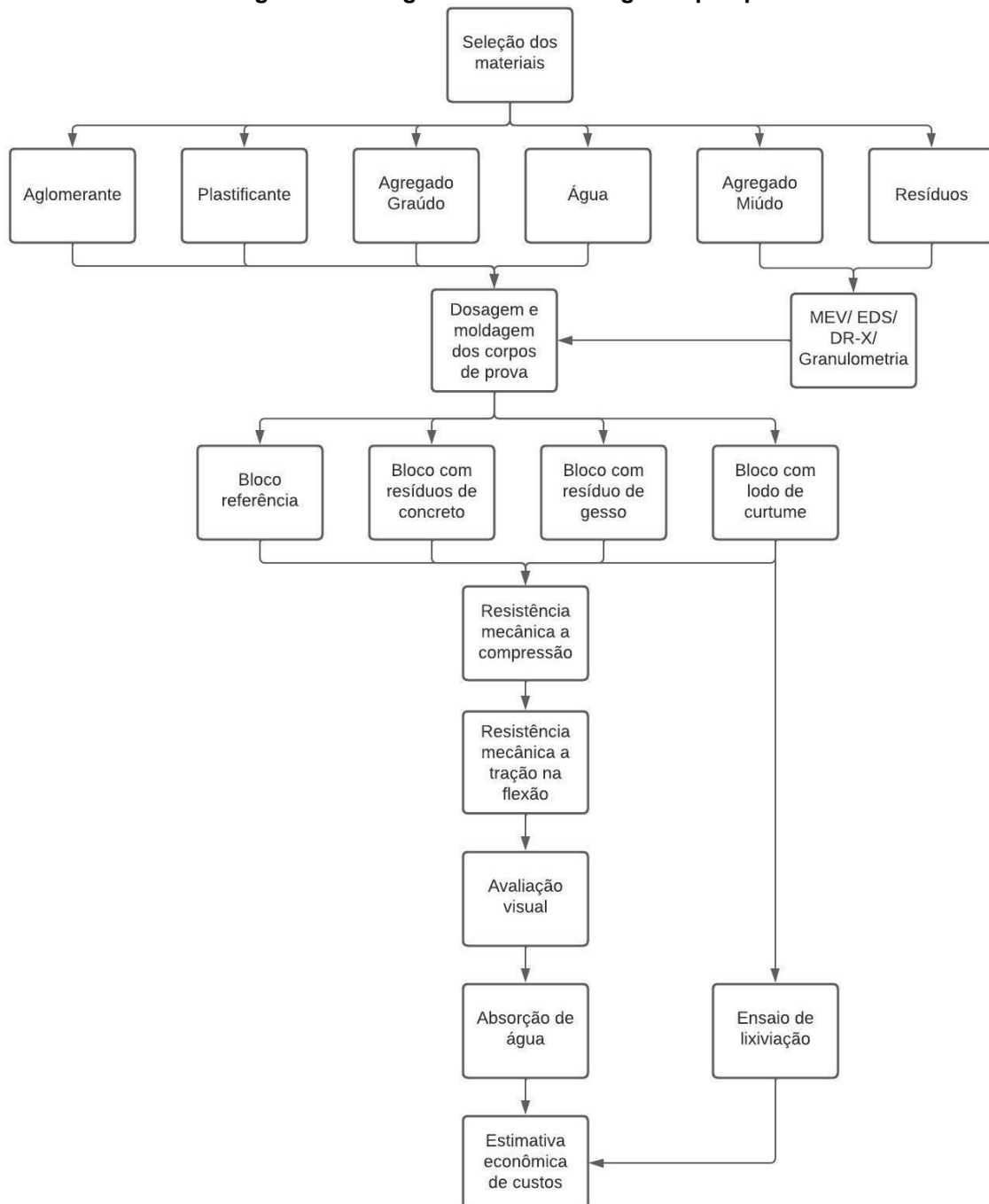
Após a seleção dos artigos, optou-se por não realizar a classificação pelo *InOrdinatio* que qualifica os artigos de maior relevância pois, foi necessário realizar as análises dos artigos completos de forma integrativa.

A análise de conteúdo (iii) seguiu Bauer e Gaskell (2002) e Saunders; Lewis e Thornhill (2009). Disposto na seção de resultados, foram identificados os estudos que utilizam resíduos reciclados para a produção de blocos de concreto. Em seguida, a análise se concentrou em estudos práticos que realizam testes com os resíduos e demonstraram resultados, buscando identificar dosagens ideais para a produção de

blocos de concreto. Por fim, o portfólio bibliográfico não se limitou a esta metodologia, visto que dissertações, teses e as referências dos artigos selecionados também são utilizados como aporte bibliográfico.

Após a elaboração do portfólio, optou-se pela utilização de resíduos de gesso, de concreto e lodo de curtume, posteriormente determinou-se as variáveis específicas e os traços para a produção dos corpos de prova. O fluxo determinado para metodologia da pesquisa é descrito no Fluxograma apresentado na Figura 2.

**Figura 2: Fluxograma de metodologia de pesquisa**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 3.3 Materiais

Para a produção de blocos de concreto para pavimentação foram utilizados uma série de materiais, entre eles: aglomerantes, agregados miúdos, agregados graúdos, água e plastificante. Para atingir os objetivos propostos pelo estudo, foram adicionados resíduos à mistura, quanto aos demais materiais foram utilizados os mesmos que a fábrica alvo do estudo já utilizavam.

#### 3.3.1 Aglomerantes

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland CP V de alta resistência inicial que já era o material utilizado pela fábrica e estabelecido de acordo com a NBR:5733 (ABNT, 1991), com densidade de  $3,150 \text{ g/cm}^3$ , atendendo os requisitos mínimos em relação ao limite mínimo de qualidade e sendo indicado para a produção de concretos e argamassas que exigem alta resistência inicial.

#### 3.3.2 Agregado miúdo

O agregado utilizado nesta pesquisa foi a areia média e o pó de pedra proveniente de fornecedores da região de Campo Mourão (PR), com granulometria inferior a 4,8mm. A areia utilizada foi de origem de quartzo. Já o pó de pedra foi proveniente da britagem de rochas.

#### 3.3.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo foi proveniente da região de Campo Mourão e definido como brita zero granítica, com diâmetro entre 4,8 e 9,5 mm, comercialmente definido como Pedrisco.

#### 3.3.4 Água

Para o amassamento da mistura foi utilizado a adição de água potável, proveniente da rede de abastecimento de água da cidade de Nova Tebas, fornecida pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR.

### 3.3.5 Plastificante

Para o amassamento da mistura foi utilizado aditivo plastificante já utilizado pelo fabricante, que visa a redução de água para a mistura, mais plasticidade, melhora a trabalhabilidade da mistura e contribui para a desforma da peça.

### 3.3.6 Resíduos

Para o estudo foram utilizados três tipos de resíduos, dois provenientes da construção civil e um da indústria química.

Os resíduos de construção civil (RCC), foi disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Nova Tebas e a Empresa RDC Distribuidora, sendo a primeira responsável pela disponibilização de RCD proveniente da demolição de calçadas e a segunda pelo gesso proveniente do descarte do material utilizado para a construção de drywall e forros.

O resíduo de concreto e o gesso foram classificados de acordo com a resolução nº307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), como de classe A, por serem possíveis de serem reutilizáveis e recicláveis como agregados, sendo compostos por componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto.

O terceiro resíduo foi o lodo de curtume adquirido do processo de curtimento de couro disponibilizado por uma empresa do Estado do Paraná, sendo classificado por meio dos testes de lixiviação, além dos demais testes de caracterização das amostras, sendo definido como resíduo não perigoso de Classe II.

Para a fabricação dos blocos de concreto, os resíduos foram reciclados e separados em ambientes adequados. Posteriormente, foi realizado a classificação granulométrica dos materiais por meio de peneiras de granulometria.

## 3.4 Caracterização das amostras

As matérias-primas utilizadas no processo produtivo foram caracterizadas por diferentes técnicas a fim de se obter resultados quanto a morfologia superficial, presença de elementos químicos e dimensões das partículas.



### 3.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS)

As matérias-primas utilizadas na pesquisa foram caracterizadas quanto a análise do MEV para caracterização morfológica de superfícies de particulados, avaliação e análise de superfícies fraturadas e falhas do material. Já a análise EDS, foi realizada para mapear a composição química elementar da superfície do material da amostra (SCHMAL, 2011).

Para a realização da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS), foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura Tescan, Vega 3 LMU equipado com detector de energia dispersiva –EDS- Oxford, AZTec Energy X-Act. Os materiais caracterizados foram: areia, resíduos de concreto, gesso e lodo de curtume.

### 3.4.2 Difração de raios-X

Para a difração de Raios-X (DRX) e caracterização da estrutura cristalina da amostra, foi utilizado um difratômetro Rigaku-Denki com radiação Cu-K  $\alpha$  ( $\lambda = 1,5406$  Å) a uma tensão de 140 V e uma corrente de 40mA. Os padrões obtidos foram comparados com os cartões do conjunto de dados de difração do International Center for Diffraction Data (ICDD).

### 3.4.3 Ensaio de granulometria

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para determinar as dimensões das partículas e a porcentagem de peso que cada faixa especificada de tamanho representa na massa total ensaiada (AMEY *et al.*, 2014). Por meio dos resultados obtidos é possível construir a curva granulométrica de distribuição das faixas ensaiadas.

Nesse sentido, o ensaio foi realizado pelo método do peneiramento conforme determina a norma ISO 6274/1982 (ISO, 1982), onde foi realizado de forma exclusiva a separação das partículas, sendo realizada duas amostras para cada material. Os materiais ensaiados quanto a granulometria foram: areia, pó de pedra, resíduo de concreto, resíduo de gesso e lodo de curtume.

O ensaio consistiu na separação dos grãos conforme o tamanho, por meio do uso de peneiras, sendo formado duas amostras de cada material com massa de 500g cada, obedecendo a quantidades mínimas para o ensaio de determinação das composições granulométricas de agregados. As amostras do material foram separadas e em seguida, colocadas na série de peneiras usadas no ensaio, de maneira individual. As peneiras foram arrumadas com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, em seguida foram colocadas no vibrador mecânico durante 5 minutos para realizar o peneiramento.

Após finalizada esta etapa, foram retiradas as amostras contidas em cada peneiras da série e foi pesado em balança eletrônica, para na sequência inserir os dados no *software Microsoft Excel* e realizar as somas das porcentagens retidas acumuladas das peneiras da série normal, chegando ao módulo de finura respectivo de cada material.

### **3.5 Método**

Neste tópico foram apresentados os métodos que utilizados para a moldagem dos corpos de prova e os testes referentes à pesquisa.

#### **3.5.1. Dosagem e moldagem dos corpos de prova**

A dosagem do concreto realizada neste estudo seguiu a receita padrão produzida na fábrica de Artefatos de Concretos de Nova Tebas, sendo optado pela substituição de pó de pedra em maiores proporções devido ao fato de ser o material com maior custo nas proporções utilizadas, com exceção do cimento. Além da substituição do pó de pedra, foi escolhido em conjunto com o responsável pela fábrica, por realizar uma substituição única na quantidade de areia, para verificação de possíveis alterações nos resultados quando comparados com os blocos referências e os blocos com pó de pedra nas mesmas proporções.

Primeiramente, foi realizada a caracterização dos materiais utilizados, bem como a determinação de traços para a produção de corpos de prova. Para a produção dos blocos de concreto foram utilizadas as matérias-primas citadas, bem como os resíduos de concreto, gesso e o lodo de curtume na substituição dos agregados miúdos.

Posteriormente, os resíduos foram classificados quanto à granulometria e foram determinadas as massas específicas de concreto e gesso, 2,45 kg/m<sup>3</sup> e 1.400 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Para o preparo do corpo de prova foi realizada a mistura, após pesagem de cada item individualmente. O processo de confecção do traço foi dividido em três etapas individualmente: 1) Sem variação de peso: 20 kg de cimento, 6 L de água, 150 ml de plastificante, 37,797 kg de pedriscos, 66,120kg de pó de pedra e 27,450 kg de areia; 2) com substituições parciais de pó de pedra por resíduos, sendo o bloco de referência o bloco produzido sem substituições; 3) com substituições parciais de areia por resíduos. Quanto às substituições, elas podem ser vistas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Composição dos materiais para a produção de 65 corpos de prova (10x20x6).  
Substituição de pó de pedra**

Traço	pó de pedra	Resíduo
Referência	66,120kg	-
Concreto 30% (fig.12 a)	46,284kg	19,836kg
Concreto 40%	39,672kg	26,448kg
Concreto 50%	33,060kg	33,060kg
Concreto 60%	26,448kg	39,672kg
Gesso 20%	52,896kg	13,224kg
Gesso 30% (fig.12 b)	46,284kg	19,836kg
Gesso 40%	39,672kg	26,448kg
lodo de curtume 20%	52,896kg	13,224kg
Lodo de curtume <b>30%</b> (fig.12 c)	46,284kg	19,836kg
Substituição de areia		
Traço	Areia	Resíduo
Concreto 30%	19,215kg	8,235kg
Gesso 30%	19,215kg	8,235kg
Lodo de curtume 30%	19,215kg	8,235kg

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para a realização da mistura do concreto os resíduos foram primeiramente reciclados, por meio de uma recicladora que realiza a separação dos materiais de acordo com a granulometria desejada. A granulometria para a substituição, foi definida como inferior a 4,8mm, sendo peneiradas após a reciclagem para verificar tais valores. Após, a reciclagem e peneiramento, os mesmos foram encaminhados para o

misturador automático em conjunto com a areia, pó de pedra e pedrisco

A adição de plastificante é realizada na água e posteriormente adicionado em conjunto com o cimento a mistura ao final do processo, até a obtenção de um material com aspecto homogêneo. Após a adição de todos os materiais, a mistura foi mantida por 300 segundos no misturador.

Para determinar a consistência da mistura, foi utilizado a norma ACI 522R-06 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2006), que determina que deve-se observa a superfície do material, até que apresente aspecto de brilho metalizado, sendo que quando se apresenta desta forma a quantidade de água está adequada. Após a dosagem e determinação da consistência da mistura, a massa foi moldada na vibroprensa, compactando, vibrando e prensando o bloco de concreto para pavimentação (Fotografia 1). Os moldes foram confeccionados em formato prismático com dimensões de 6x10x20 cm (altura x largura x comprimento) e mantidos em local seco, em temperatura ambiente, com superfície horizontal, rígida e livre de qualquer interferência externa, até a data dos ensaios.

**Fotografia 1: Processo de moldagem de blocos de concreto na vibroprensa.**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

### **3.6 Ensaio**

### 3.6.1 Ensaio de resistência mecânica à compressão

Para a determinação da resistência mecânica à compressão, os ensaios foram realizados conforme previsto pela NBR 9781: 2013 (ABNT, 2013) e as normas internacionais australianas AS/NZS 4456.4:2003 (STANDARDS AUSTRALIA, 2003), africana SANS 1058/2009 (THE SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS, 2018) e ASTM C579-18 (ASMT INTERNATIONAL, 2018), para fins de comparação, seguindo a metodologia estabelecida nas normas, para blocos de concreto com diferentes níveis de substituição, a fim de determinar a resistência característica de cada traço.

A resistência foi avaliada aos 7, 14, 28 e 60 dias, sendo submetido 3 blocos para cada tempo referente a cada característica estudada. O ensaio foi realizado no equipamento prensa de ruptura (Fotografia 2a), posteriormente o equipamento mediu a força aplicada no corpo de prova até o momento da ruptura, a partir deste valor foi calculado o resultado por meio da Equação (1).

$$f_c = \left( \frac{4F}{A} \right) \quad (1)$$

Onde:

$f_c$  é a resistência à compressão (MPa)

$F$  é a força máxima alcançada (N)

$A$  é a área do corpo-de-prova (mm)

### 3.6.2 Ensaio de resistência mecânica de tração na flexão

Para a realização do ensaio de tração na flexão, seguiu-se o mesmo roteiro experimental do ensaio de resistência à compressão, sendo submetidos 3 blocos de cada vez referentes a cada traço estudado e sendo realizado seguindo a metodologia de acordo com a norma NBR 12142 (ABNT, 2010) e as Normas Internacionais Europeias EN 1338: 2003 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003), African SANS 1058/2009 (THE SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS, 2018) e ASTM C579-18 (ASMT INTERNATIONAL, 2018) para fins de comparação.

O equipamento utilizado, foi a prensa de ruptura (Fotografia 2a), que realiza a

medição da força aplicada no corpo de prova até o momento que ocorre a ruptura do mesmo, a partir deste valor foi calculado o resultado por meio da Equação (2).

$$f_{ct,f} = \left( \frac{F.l}{b.d^2} \right) \quad (2)$$

Onde:

$f_{ct,f}$  é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

$F$  é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

$l$  é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);

$b$  é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$d$  é a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

### 3.6.3 Ensaio de absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão representa a capacidade máxima do bloco de concreto de absorver água sendo descrita pela Norma NBR 9778/1987 (ABNT, 2009) e a Norma Europeia - EN 1338:2003 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003). Para a realização do ensaio no tempo de 28 dias, foram utilizados 3 corpos de prova (para cada traço), pesados e em seguida foram submersos na água por um período de 24 horas (Fotografia 2b) até completar saturação, em seguida foram secos e pesados, obtendo-se a massa do corpo de prova úmido. O valor de absorção de água foi calculado usando a Equação (3)

$$A_i = \left( \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{seca}} \right) \times 100 \quad (3)$$

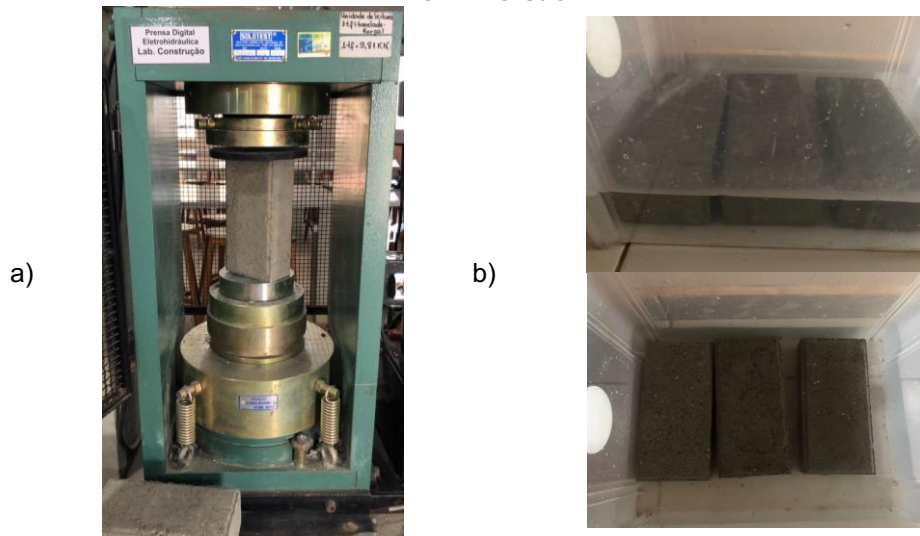
Onde:

$A_i$  é a absorção de água por imersão (%)

$M_{sat}$  é a massa do corpo-de-prova que ficou imerso em água com superfície seca (kg)

$M_{seca}$  é a massa do corpo-de-prova seco (kg)

**Fotografia 2: a) Ensaio de resistência à compressão na prensa de ruptura b) Corpos de prova em imersão.**



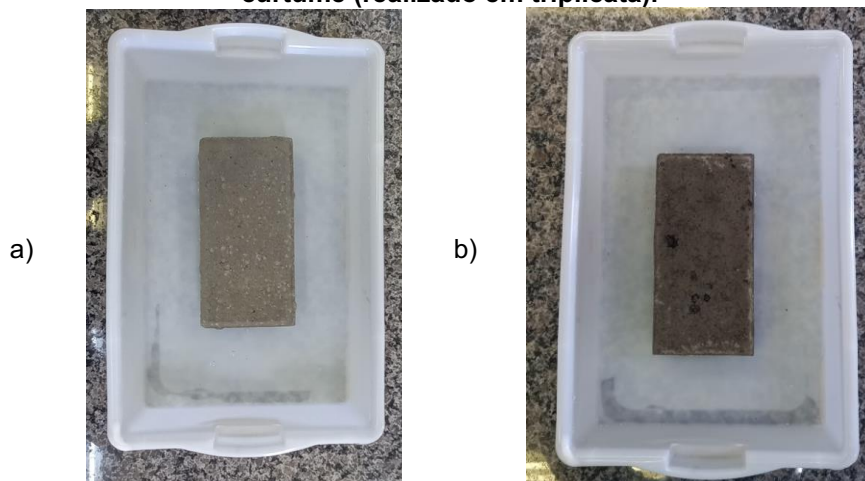
**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 3.6.4 Ensaio de lixiviação

O ensaio de lixiviação foi realizado de acordo com a ABNT NBR 10.004 (2004), que determina a análise como sendo o processo para a determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator.

Nesse sentido, o ensaio foi realizado unicamente para as amostras de resíduos reciclados da indústria química, sendo utilizado 3 blocos para a determinação de cromo presentes na amostra (Fotografia 3a). Para efeitos de comparação foi utilizado um bloco comercial (Fotografia 3b).

**Fotografia 3: Testes de lixiviação: a) Amostra padrão; b) Amostra com resíduo de lodo de curtume (realizado em triplicata).**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Segundo Marion, Laéve e Grauw (2005), o ensaio de lixiviação de blocos de concreto em condições normais de exposição rege-se essencialmente por difusão. Assim, a simulação de laboratório pode ser realizada em um tanque de teste, de acordo com o Royal Netherlands Standardization Institute, (NEN 7345, 1995). Nesse sentido, os blocos de concreto (6x10x20cm) foram curados por 60 dias a 20 °C, depois imersos em um determinado volume de água desmineralizada (líquido/sólido = 6) e mantidas em condições estáticas a uma temperatura de 20 °C. Ao final de cada etapa de imersão (6 h e 1, 3, 7, 14 e 36 dias), o eluato foi separado, filtrado, acidificado e armazenado para análise e também substituído por 6 l de água desmineralizada fresca (GROOT; SLOOT 1992; HEASMAN *et al.*, 1997).

### **3.7 Estimativa econômica do custo dos materiais**

Para a determinação da estimativa de custo, foi considerado os preços dos materiais utilizados na fabricação dos blocos, e a substituição dos percentuais de pó de pedra e areia pelos resíduos. Os preços utilizados nesta estimativa econômica, foram os valores pagos por ata de registros de preços no município, considerando fretes e variações de preços que ocorrem no mercado.

Os valores dos resíduos não foram considerados devido a doação do município que realiza a coleta dos resíduos sólidos da população sem realizar cobranças, já os resíduos de gesso e lodo de curtume foram doados para a pesquisa, pois ambas as empresas realizam pagamentos para empresas terceirizadas realizarem a coleta e a destinação adequada dos resíduos, portanto uma destinação ambientalmente correta é do interesse de ambas as empresas.

Desta maneira, para determinar a estimativa econômica de custos, primeiramente levantou-se os custos das matérias-primas, e as respectivas proporções utilizadas para produzir 1 bloco de concreto referência, posteriormente calculou-se o valor para as substituições de pó de pedra e areia. Posteriormente, determinou-se a definição dos valores correspondentes de cada bloco produzido com a adição de resíduos.

Após a definição dos valores correspondentes cada substituição de matéria-prima, utilizou-se o modelo matemático que relaciona o percentual de redução de custos em relação à substituição do pó de pedra por resíduos sólidos da construção civil, sendo considerado o modelo matemático (4). Considerou-se apenas a



substituição do pó de pedra, devido à redução do custo ter sido mais significativa do que a substituição da areia, além de apresentar melhores resultados nos ensaios. Para determinar o modelo matemático que relaciona o percentual de redução da resistência mecânica do bloco, foi considerado o modelo matemático (5):

$$C = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (4)$$

$$R = b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 \quad (5)$$

Onde,  $x$  representa o percentual de resíduo utilizado,  $C$  representa o percentual de redução de custos,  $R$  representa a redução da resistência do bloco, os parâmetros  $a_1$  e  $b_1$  são as constantes a serem obtidas.

Segundo Tusset *et al.* (2012) as duas funções podem ser aproximadas pelo método dos mínimos quadrados minimizando o erro (Equação 6)

$$E = \sum_1^n (Y - f(x))^2 \quad (6)$$

Onde,  $E$  representa o erro,  $n$  o número de pontos amostrados,  $Y$  os dados amostrados, e  $f(x)$  os dados estimados.

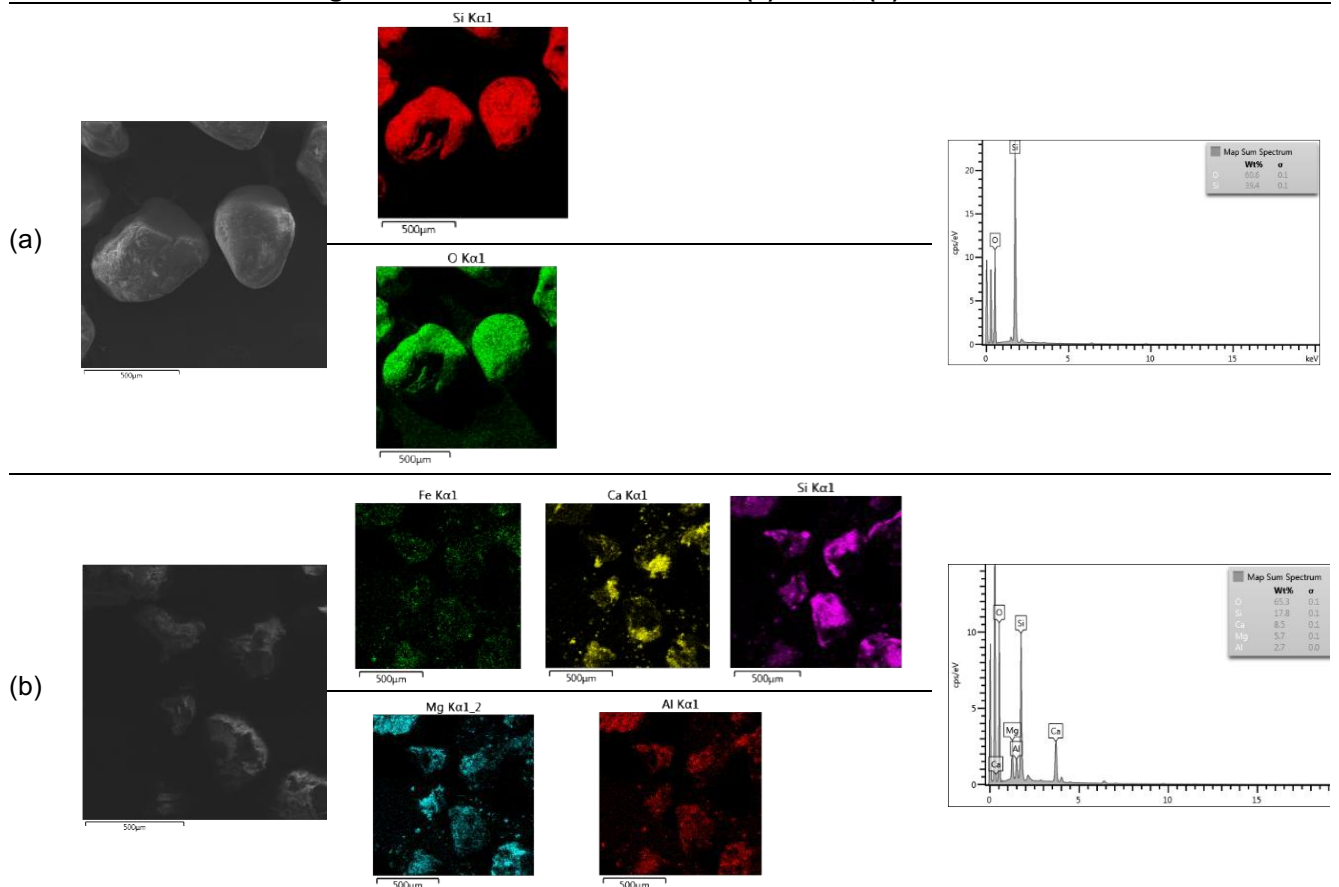
Por fim, realiza-se a substituição das equações (4) e (5) em (6) e considerando o método dos mínimos quadrados, obtêm-se os parâmetros  $a_1 = 2.875492$ ,  $a_2 = -0.062624$ ,  $a_3 = 0,000463$ ,  $b_1 = -20.724604$ ,  $b_2 = 1.557377$ ,  $b_3 = -0.035826$  e  $b_4 = 0,000261$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização de materiais

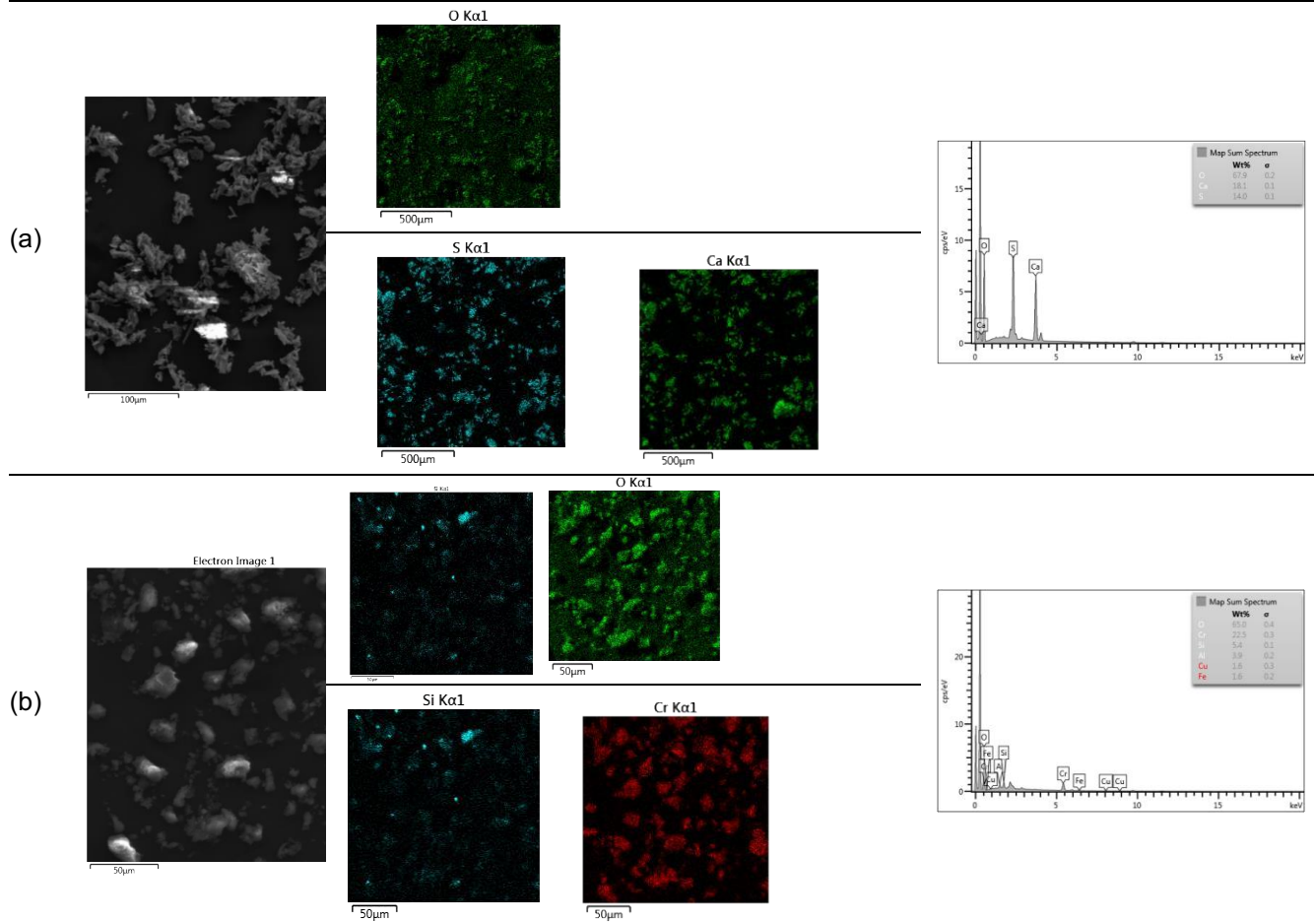
Para caracterização dos materiais, foi primeiramente realizada por meio do MEV/EDS, os resultados são indicados nas Figuras 3 e 4. A análise MEV indicou diferenças no aspecto/rugosidade dos materiais, o que pode influenciar nas características do material obtido. A compacidade está diretamente ligada a resistência do concreto, o fator determinante para isso é a relação água/cimento e os poros presentes no material e quanto maior o número de poros, menor a resistência do concreto.

Figura 3: Resultados de MEV/SEM (a) Areia; (b) Concreto.



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 4: Resultados de MEV/SEM (a) Gesso (b) Lodo de curtume.**



Fonte: Autoria própria (2023)

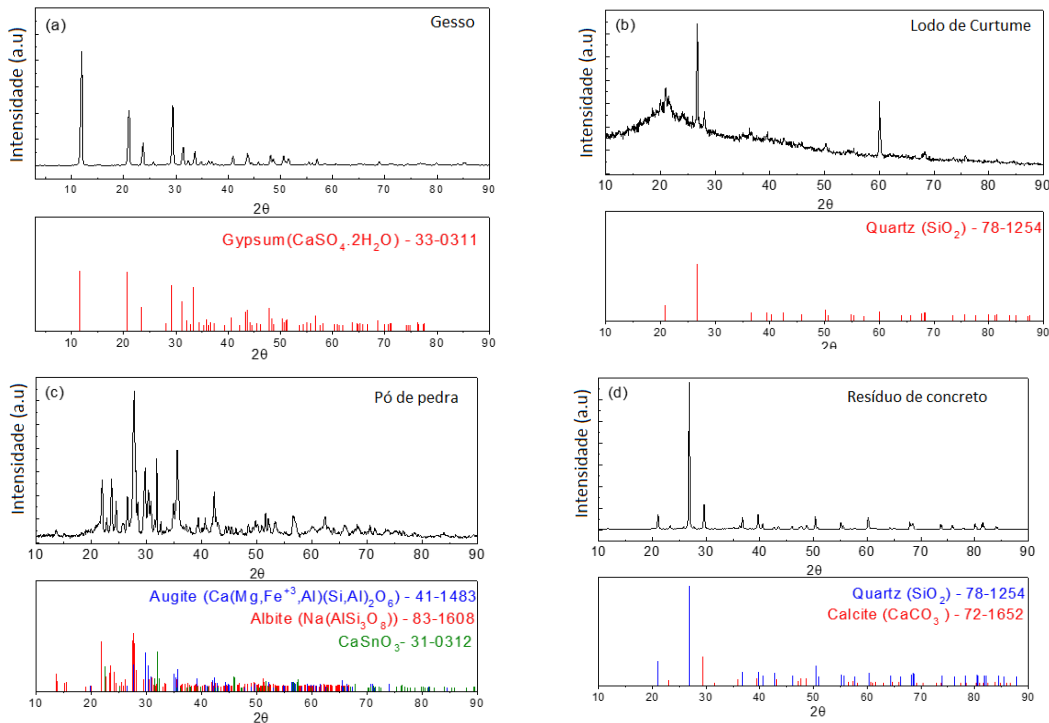
Por meio das análises, foi possível notar que o gesso apresentou maior porosidade, em relação aos demais materiais estudados, resultados semelhantes foram observados por Cruz *et al.* (2019) e Almeida *et al.* (2020) que avaliaram o uso do gesso quanto a porosidade. Ambos os estudos, verificaram que o gesso apresenta maior taxa de porosidade, influenciando em características como a permeabilidade ao ar, absorção capilar de argamassas e resistência das peças.

Quanto a análise EDS para o mapeamento de composição química, notou-se que a areia (fig. 6a) e o concreto (fig. 6b) são compostos predominantemente por sílica (39 e ~18%, respectivamente). Já o gesso apresentou Ca em sua composição (18%) (fig.4 a), conforme esperado, enquanto na amostra de lodo de curtume foi detectada uma quantidade considerável de cromo (~22%).

Em relação à análise DRX, que visou analisar a estrutura cristalina das amostras, notou-se que os difratogramas dos materiais (gesso, lodo de curtume, pó de pedra e resíduo de concreto), identificou a presença de quartzo, calcita, bem como

gypsum e albita, conforme são mostrados na Gráfico 1. Os picos de difração das fases principais podem ser identificados a partir dos padrões DRX.

**Gráfico 1: Difractograma de raios-X do (a) Gesso; (b) Lodo de curtume; (c) pó de pedra e (d) Concreto.**



Fonte: Autoria própria (2023)

Analisando o difratograma apresentado no Gráfico 1, pode-se perceber que o resíduo de pó de pedra é o único material que apresenta grande quantidade de picos com partes cristalinas, apresentando em sua composição quando comparado com o banco de dados, elementos como Augite, Albite e Estanato de cálcio. Já os resíduos utilizados para a substituição do pó de pedra na pesquisa apresentaram estruturas predominantemente amorfa, o que acorda com o estudo apresentado por Paiva (2009), em que afirma que resíduos apresentam estruturas desordenadas, sem forma definida e estruturas amorfas, sendo propício para combinações e transformações de materiais com outros elementos. Portanto, permitindo seu uso nas composições de novos produtos.

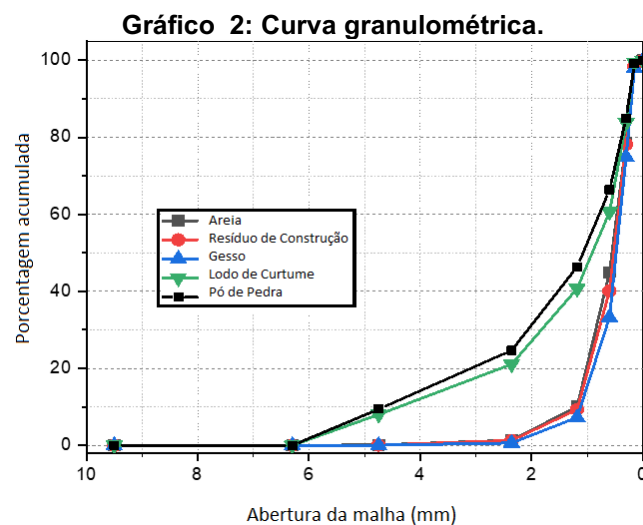
Já o difratograma de raios-X do pó de Gesso (Gráfico 1a), demonstra que a amostra é composta essencialmente por hemidrato, pois foram identificados os picos característicos de bassanita e à anidrita. A anidrita é um material que consiste em um dos subprodutos da calcinação da gipsita, que segundo Barbosa, Ferraz e Santos (2014), quando está em fase solúvel se torna instável, ávida por água, que se

transforma em hemidrato rapidamente. Nesse sentido, Farias *et al.* (2014), em seu estudo, verificou que o aumento da razão água/gesso permitido por esta composição utilizada no preparo das amostras gera cristais maiores e reduz a resistência mecânica do material, o que não é o resultado satisfatório para produtos como concreto, que exigem maiores valores de resistência.

Em relação ao lodo de curtume, os padrões de difração de raios-X apresentados na Figura 8b, mostram a presença de uma estrutura com predominância amorfa, porém com presença de quartz ( $\text{SiO}_2$ ). Embora a análise química apresentada pelo EDS não demonstrou a presença de quartz, porém demonstrou a predominância de cromo (~22%), este não foi identificado por meio da análise DRX, podendo ser justificado ao fato de que o cromo da amostra pode estar combinado com outros elementos, resultando em outros compostos amorfos, ou devido à interferência da matéria orgânica na amostra. Nesse sentido, resultados semelhantes foram apresentados por Chambi e Toffoli (2011), que possuíam em seu estudo uma amostra de lodo de curtume com presença de 37,6% de cromo e que não foi identificada na difração de raios-X.

No que se refere ao concreto, a sua composição apresentou majoritariamente picos de maior intensidade para de quartz ( $\text{SiO}_2$ ) e calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), corroborando com resultados obtidos nas análises de Souza, Anjos e Sá (2021) e Ramos Filho *et al.* (2021).

Em relação às curvas granulométricas dos materiais estão plotadas no Gráfico 2.



Fonte: Autoria própria (2023)

O ensaio foi realizado por peneiramento conforme determina a norma ISO 6274/1982 (ISO, 1982), para determinar, por granulometria, a distribuição de areia, pó de pedra, os resíduos de gesso, concreto e lodo de curtume.

Observando a curva granulométrica, nota-se que o gesso, o resíduo de concreto e o lodo de curtume ficaram retidos em maior quantidade na peneira de abertura 0,30, com a porcentagem de retenção entre 23,18% a 41,66%, sendo o maior valor para o gesso e o menor para o lodo de curtume. Já a areia teve sua maior retenção na peneira de abertura 0,60 e o pó de pedra na de 1,18, portanto observando que os resíduos após a reciclagem obtiveram granulometria inferior ao da areia e do pó de pedra, isso pode ser justificado devido à maior porosidade dos materiais, conforme observado na caracterização realizada pelo MEV, demonstrando as superfícies das partículas. Observa-se ainda, que de acordo com a análise morfológica apresentada pelo MEV o gesso apresenta maior taxa de porosidade, sendo que na análise granulométrica observou-se também que o mesmo apresenta a menor taxa de finura, isso pode significar maior taxa de absorção de água, segundo Tataranni (2019).

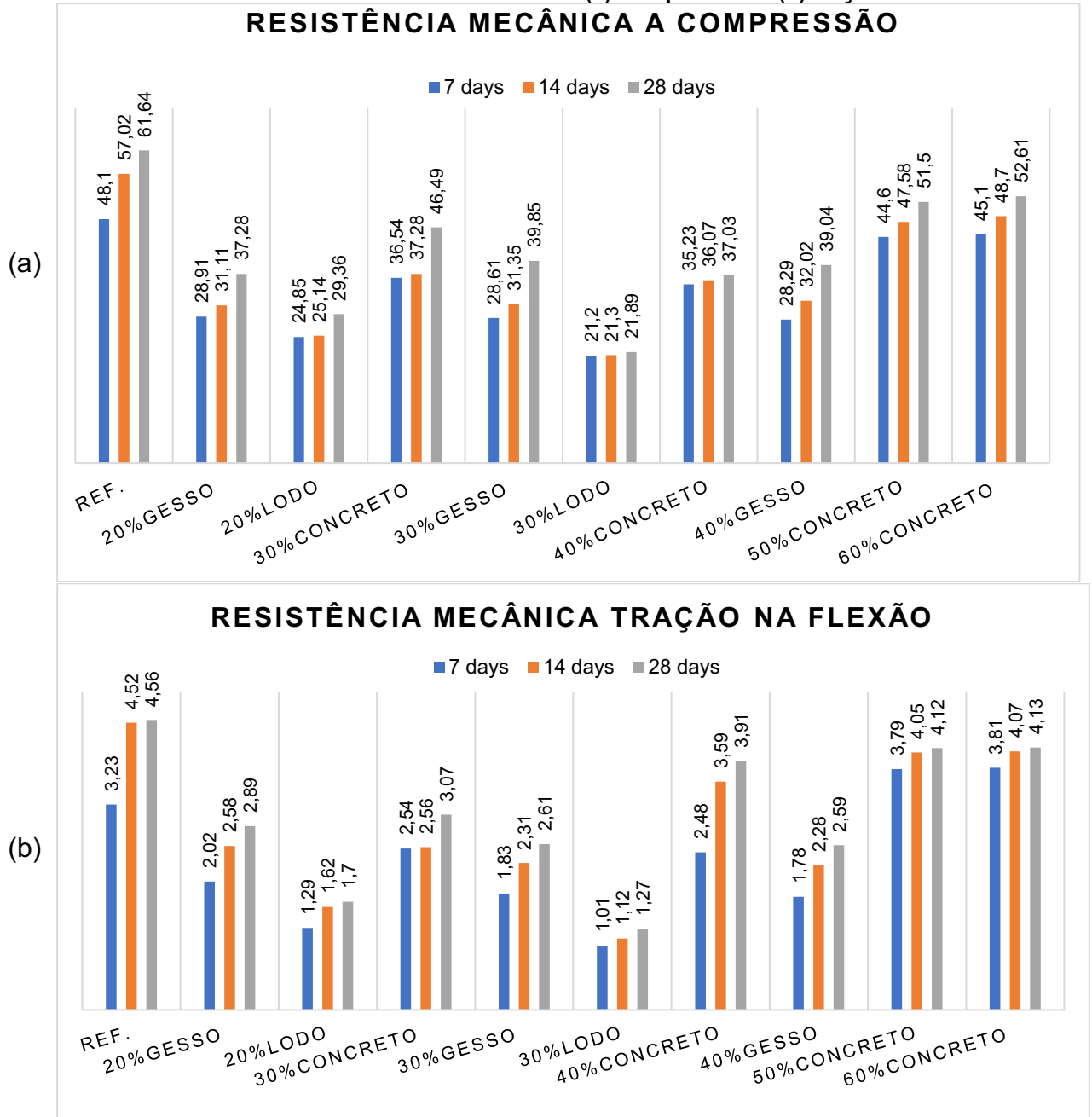
De acordo com Amey *et al.* (2014), o agregado ideal para a produção de blocos de concreto deve ser classificado como médio quando está na faixa de 2,11 e 3,1 e levemente médio com tendência a ser espesso quando está na faixa de 3,1 a 3,5, significando maior compacidade do concreto trabalhabilidade, portanto, as amostras coletadas dos agregados utilizados nesta pesquisa atendem necessidades de produção, contribuindo para a compacidade do concreto e trabalhabilidade.

#### **4.2 Resistência mecânica à compressão e tração na flexão**

Os resultados médios de resistência à compressão e tração na flexão em diferentes tempos das 10 composições de substituição de pó de pedras avaliadas são apresentados no Gráfico 3 (aeb). Observe que todos os blocos de cimento com adição de resíduos têm resistência mecânica relativamente inferior ao concreto convencional (blocos de referência) produzido com matérias-primas nobres. Resultados semelhantes foram observados nos estudos de Namarak *et al.* (2018) e Attri, Gupta e Shrivastava (2021), que afirmam que a divisão dos resíduos utilizados como agregados finos e graúdos para a produção de blocos de concreto deve considerar consideravelmente a resistência quando utilizados em grandes proporções. Este

resultado foi atribuído à porosidade do material que pode ser observado na caracterização das amostras.

Gráfico 3: Resultados da resistência mecânica (a) compressão e (b) tração-flexão.



Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 3 (a) indicou variações entre as composições estudadas, sendo o traço de referência que apresentou resultados ideais para os testes. De acordo com os resultados, verificou-se que as misturas com maior proporção de resíduos utilizados apresentaram perda de resistência à compressão dos blocos, fator essencial para avaliação de desempenho, exceto para blocos com 50% de adição de

resíduos. Este resultado nos leva a refletir que a adição de resíduos de concreto pode ter um ponto ótimo para alcançar altas resistências, sendo observado que os valores de resistência à compressão aumentam consideravelmente em amostras com 50% de resíduos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Meng, Ling e Mo, que indicaram que os resíduos, quando devidamente separados e processados corretamente, podem substituir parcial ou totalmente os agregados naturais para a produção de blocos de concreto, devendo ser encontrado o percentual ideal da solução da mistura (MENG; LING; MO, 2018).

Sugere-se também que blocos contendo gesso nas proporções de 30% e 40% podem ser melhor aplicados para pavimentação após 28 dias de cura do concreto, pois possuem valor de resistência superior a 35Mpa, enquanto blocos com resíduos de concreto podem ser utilizados após 7 dias. Porém, mesmo com valores de resistência relativamente baixos até 28 dias, os blocos produzidos com gesso e lama de curtume ainda podem ser aplicados para pavimentação de calçadas e pisos de baixo tráfego, como praças e calçadas. Por outro lado, na resistência à tração-flexão nota-se que todos os blocos tiveram resistência adquirida em todos os momentos, sendo mais acentuada nos blocos de referência e nos blocos com 40% e 50% de resíduo de concreto.

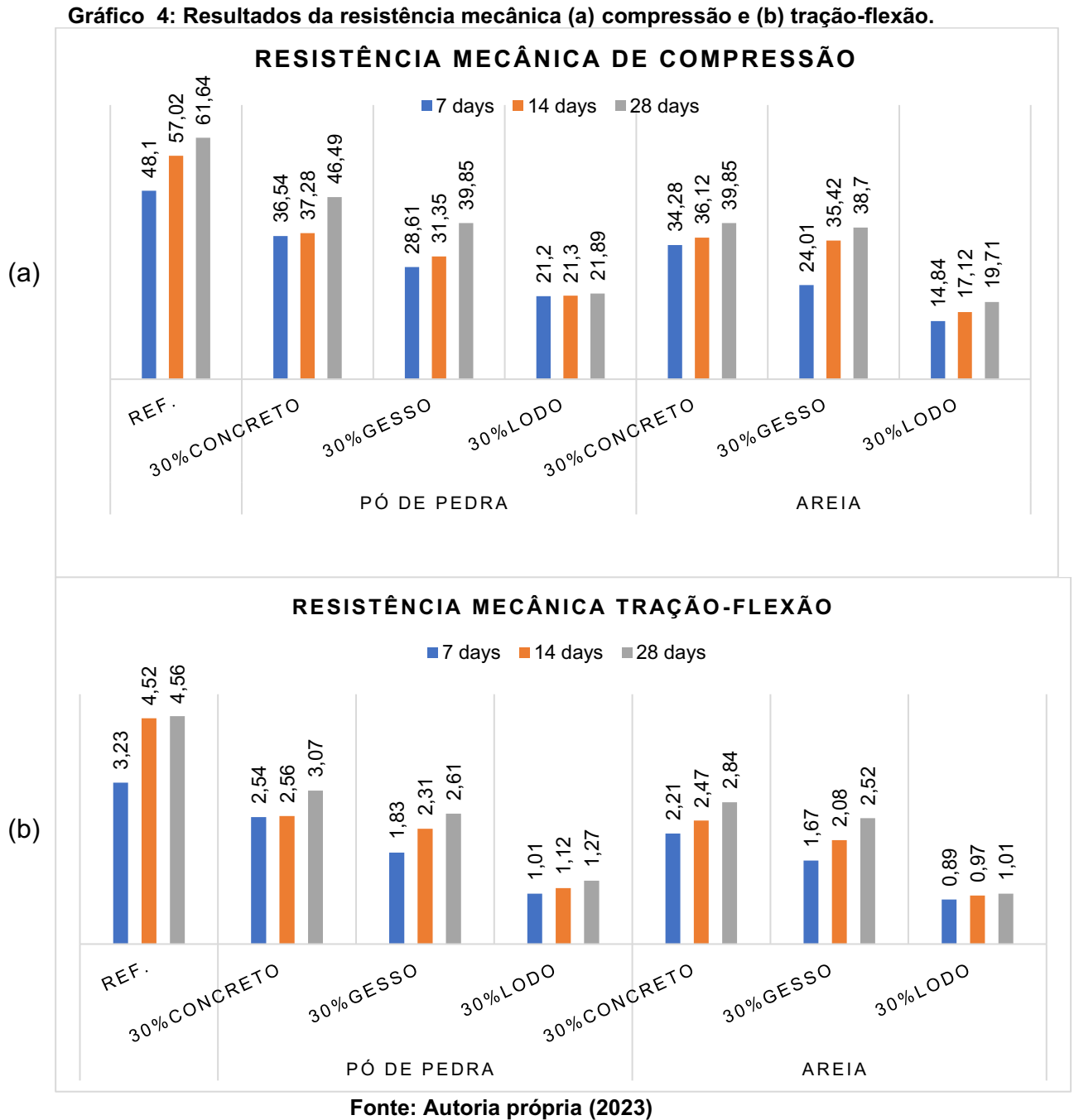
Regulamentações em alguns países estabelecem valores mínimos, como é o caso da norma SANS 1058/2009 na África do Sul (THE SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS, 2018), que requer um valor de 2,2 MPa para tráfego leve e 2,8 MPa para tráfego pesado. Portanto, todas as amostras com a composição de gesso e concreto avaliadas apresentaram resultados satisfatórios após 14 dias de cura. No entanto, nota-se que nenhuma das amostras com lodo de curtume apresentou resultados satisfatórios, indicando que o uso de lodo de curtume não é recomendado para a produção de blocos de concreto para pavimentação.

Além das amostras com substituição do pó de pedra, foram confeccionadas amostras para a substituição da areia, para verificar se a alteração do agregado miúdo pode alterar as características avaliadas, quando comparadas com os blocos referências e com os blocos com a utilização do pó de pedra. Essa substituição não foi priorizada em primeiro momento devido ao custo superior da areia quando comparado com o pó de pedra e devido à proporção de utilização ser menor do que a de pó de pedra na composição final do produto, portanto, a substituição do pó de



pedra pode ser mais vantajosa.

Os resultados médios de resistência à compressão e tração na flexão em diferentes tempos das 7 composições de substituição de pó de pedra e areia avaliadas são apresentados no Gráfico 4 (aeb).



O Gráfico 4 (a) indicou variações entre as composições estudadas, sendo o traço de referência apresentou os resultados considerados ótimos para os testes. Notou-se ainda que os blocos produzidos com a adição pó de pedra apresentou

valores de resistência mecânica superiores aos blocos produzidos com a adição de areia. Os resultados dos testes demonstram que as misturas com resíduo de concreto, tanto com a substituição da areia quanto o pó de pedra continuam apresentando resultados melhores dos que os blocos produzidos com gesso e lodo.

Porém, nota-se que os blocos com resíduos de concreto na substituição da areia demonstraram queda na resistência a compressão e na resistência a tração na flexão, desta forma, seu uso quanto a compressão passou a ser indicado após 14 dias de curas e não mais com 7 dias, conforme os blocos com substituição de pó de pedra apresentavam.

Kumar; Shrivastava e Gupta (2021a), substituíram a areia natural por reciclados de concreto, nas proporções de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% em peso e verificou que ao final dos 28 dias os blocos alcançaram resistência a compressão adequada de acordo com as normas, porém também se observou a queda de resistência quando comparado com o bloco produzido com agregado natural. Silva (2019), verificou resultado semelhante, porém no traço II que utilizou 85% de resíduo da construção apresentou maior resultado quando comparado com o bloco referência, sendo justificado devido à relação da granulometria, visto que estes resíduos possuíam maior diâmetro que a areia, permitindo preencher os vazios, portanto, alcançando uma pasta mais uniforme.

Para Stolz e Masuero (2018), materiais com granulometrias uniformes não apresentam bom desempenho para o concreto e as massas de revestimentos, portanto necessitando de variações granulométricas para as misturas, sendo que a quantidade de materiais finos presentes influencia na viscosidade das argamassas.

Nesse sentido, nota-se que apesar da queda de resistência a compressão, os blocos de resíduo de concreto e de gesso continuam sendo adequados para a pavimentação, pois atingem os valores estabelecidos de 35 MPa com 14 dias de cura. Porém, os blocos com lodo de curtume não são recomendados para pavimentação, pois apresentaram valores de 43,68% menor do que o valor recomendado para 28 dias de cura do concreto.

Já a resistência à tração na flexão nota-se que todos os blocos obtiveram resistência adquirida em todas as idades ensaiadas, porém os mesmos também apresentaram queda quando comparados aos blocos produzidos com a adição do pó de pedra, sendo mais acentuada nos blocos com adição de lodo de curtume.

Os blocos com resíduos de concreto, continuam apresentando resistência a

tração na flexão adequados com 7 dias de cura, pois apresentam valores superiores a 2,2 MPa para tráfego leve solicitado pela norma SANS 1058/2009 na África do Sul (THE SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS, 2018), sendo que aos 28 dias os mesmos já se tornam adequados para uso em tráfego pesado que solicita 2,8 MPa de acordo com a norma. Porém, nota-se uma queda de resistência mecânica da tração na flexão relativa dos blocos produzidos com a substituição da areia de 7,49% quando comparado com os blocos produzidos com pó de pedra e 37,7% com o bloco referência. Portanto, sendo mais adequado o uso de pó de pedra do que o uso da areia.

Já os blocos com adição de gesso, nota-se que os mesmos atendem a norma SANS 1058/2009 na África do Sul (THE SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS, 2018), para uso em tráfego leve, porém em nenhuma das duas substituições os blocos atingiram 2,8 solicitado para o uso em tráfego pesado. Quanto aos blocos de lodo de curtume, nenhum bloco alcançou resistência a tração na flexão em nenhuma substituição.

### **4.3 Características visuais**

No Brasil, a norma prevê especificações e métodos de ensaio das peças de concreto para pavimentação intertravada (ABNT, 2013). Essa norma estabelece formatos, dimensões, aspectos gerais, resistências à compressão, absorção de água, critérios de aceitação das peças, dentre outras definições para o produto final empregado na pavimentação intertravada.

Em relação às dimensões a norma estabelecem: comprimento nominal de no máximo 250mm, largura real de no mínimo 97mm, medida nominal da espessura de no mínimo 60mm, com tolerâncias de dimensões de 3mm (ABNT, 2013). Nesse sentido, os blocos produzidos nesta pesquisa possuíam dimensões de 6x10x20 cm (altura x largura x comprimento), sendo verificado e medido todos os blocos antes dos ensaios. Ao final, verificou-se que nenhum bloco estava fora das especificações de tolerância estabelecida pela norma, tendo variação máxima individual de 1,0 mm e atendendo as exigências da NBR 6136 (ABNT, 2007) e da NBR 12118 (ABNT, 2013), indicando aceitação nesses requisitos

Em relação às características visuais das peças, a norma estabelece que uma amostra de cada lote deve passar por inspeção visual, visando identificar possíveis

defeitos que prejudiquem o pavimento, sendo que os blocos devem possuir aspecto homogêneo, arestas regulares, ângulos retos e não devem possuir rebarbas, descamações e outros defeitos que podem prejudicar seu desempenho, quanto a variação da coloração as mesmas são permitidas, devido à variação dos insumos.

Neste estudo, verificou-se que as peças de cada lote possuíam aspectos homogêneos, arestas regulares, ângulos retos e não possuíam rebarbas, porém notou-se que os blocos com gesso e lodo de curtume apresentaram pequenas variações quanto aos espaços vazios, podendo ser observado na Fotografia 4, assim como a modificação da cor.

**Fotografia 4: Aspecto visual dos espécimes 30%. (a) Referência; (b) Resíduos de construção e; (c) Gesso; (d) Lodo de curtume.**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Quanto a presença de defeitos na avaliação visual, notou-se que os blocos com a adição de lodo de curtume apresentaram maiores falhas quando a espaços vazios nas superfícies, bem como os blocos com gesso, porém, nota-se que não são significativas, portanto, não afetando a durabilidade do bloco. De acordo com o responsável pela empresa, pode ser necessário maior tempo de vibração na mesa vibratória para esses espécimes. Já os blocos com adição de resíduos de concreto apresentaram superfície bem próxima com as do bloco referência, sem grandes espaços vazios, nem presença de fissuras superficiais. Resultado semelhante foi observado por Bravo (2014), que verificou que estes defeitos, são apenas superficiais e são considerados como não significativos, podendo ajustá-los com o lixamento da peça, sendo que estes defeitos não devem possuir profundidade considerável.

Quanto a modificação da cor, nota-se que as mesmas são visíveis, devido à modificação da matéria-prima. Resultados semelhantes foram observados por Castro (2018), em que verificou que blocos produzidos com adição de resíduos possuem aspectos de cor diferentes dos blocos produzidos com matéria-prima nobre, devido à coloração destes materiais. Mohapatra *et al.* (2019), em seu estudo, também afirma que a modificação da cor ocorre devido à coloração da matéria-prima, não sendo fator limitante na produção de blocos de concreto para pavimentação.

#### 4.4 Teste de absorção de água

Para a realização do ensaio de absorção de água, foram utilizados 36 corpos de provas, sendo 3 para cada composição estudada, seguindo os requisitos da norma europeia-EN 1338:2003 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003) e a norma brasileira NBR 9781: 2013 (ABNT, 2013). A Tabela 3 descreve os resultados da absorção de água, considerando os valores médios.

**Tabela 3 - Dados do teste de absorção de água**

Substituição	Traço	M <sub>1</sub> (massa seca) (g)	M <sub>2</sub> (massa saturada) (g)	Absorção de água (%)	Valor médio EN 1338 e NBR 9781
Pó de pedra	Referência	2.658,00	2.766,00	4,06	≤ 6%
	Concreto 30%	2.655,00	2.791,00	5,12	≤ 6%
	Concreto 40%	2.655,00	2.792,00	5,16	≤ 6%
	Concreto 50%	2.656,00	2.768,00	4,22	≤ 6%
	Gesso 20%	2.648,00	2.793,00	5,48	≤ 6%
	Gesso 30%	2.649,00	2.775,00	4,76	≤ 6%
	Gesso 40%	2.651,00	2.809,00	5,96	≤ 6%
	Lodo de curtume 20%	2.601,00	2.852,00	9,65	≤ 6%
	Lodo de curtume 30%	2.589,00	2.895,00	11,82	≤ 6%
Areia	Concreto 30%	2.659,00	2.799,00	5,27	≤ 6%
	Gesso 30%	2.661,00	2.807,00	5,49	≤ 6%
	Lodo de curtume 30%	2.588,00	2.899,00	12,02	≤ 6%

Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados apresentados na Tabela indicaram alta % de absorção de água para os blocos contendo 20% e 30% de lodo de curtume em ambas as substituições. Estes valores encontram-se acima do recomendado pela Norma Europeia – EN 1338:2003 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2003) e a norma brasileira NBR 9781: 2013 (ABNT, 2013), que indicam que este valor não pode ser superior ao valor médio de 6%, portanto, indicando que os corpos de prova têm uma elevada capacidade de absorção de água, não sendo adequados para pavimentação de ruas. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Arhin *et al.* (2017) que utilizaram a aplicação de lama vermelha para produzir concreto e encontraram absorções de água de 7,70%.

Quanto aos demais corpos de prova, pode-se observar que todos atenderam aos valores recomendados, apresentando valor médio de absorção de água menor ou igual a 6%. Resultados semelhantes foram observados por Namarak *et al.* (2018) Zhao *et al.* (2020) e Attri, Gupta e Shrivastava (2021) que encontraram resultados de absorção  $\leq 6\%$ , observando assim que a adição de resíduos em quantidades parciais ou totais não influencia na perda ou aumento da capacidade de absorção de água em blocos de concreto para pavimentação.

Notou-se, ainda, que o uso do pó de pedra e da areia pode influenciar nesta absorção de água, visto que nos blocos que utilizaram areia houve um aumento considerável na absorção de água dos blocos, quando comparado aos blocos com produção de substituição do pó de pedra e o bloco referência. Isso pode ter sido influenciado devido à menor taxa de finura do material apresentado na curva granulométrica e a maior taxa de porosidade apresentada pela análise morfológica apresentada pelo MEV. Tataranni (2019), afirma que a menor taxa de finura e a maior taxa de porosidade do material pode influenciar na maior taxa de absorção de água de produtos da construção civil.

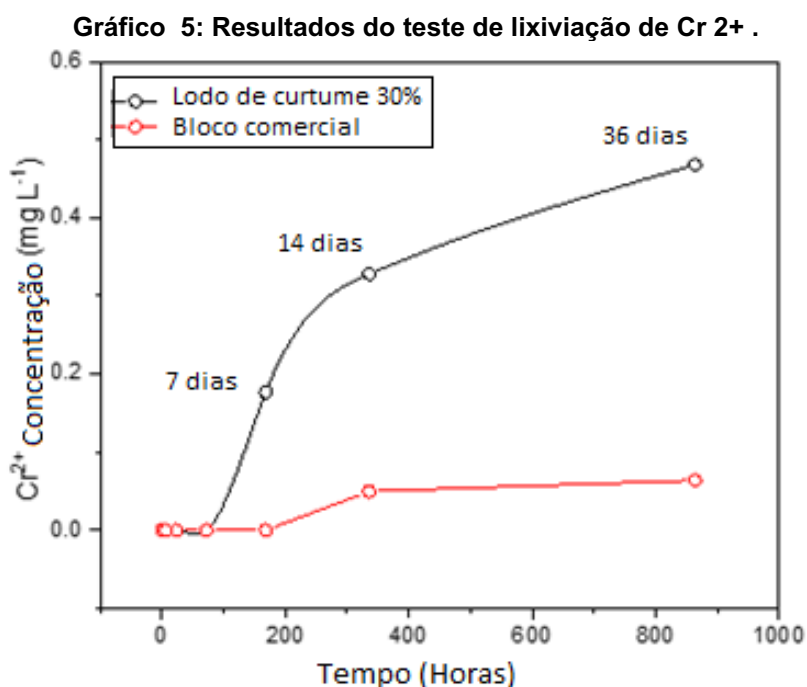
Resultado semelhante foi descrito por Valdés *et al.* (2018), que afirma que blocos produzidos com adição de materiais reciclados da construção civil possuem maior porosidade e menor módulo de finura, conseqüentemente tendo aumento nas taxas de absorção de água.

Ressalta-se ainda, que os valores individuais de absorção de água dos blocos com adição de resíduos reciclados de concreto e gesso, não ultrapassaram 7% de absorção de água máxima que é o exigido pelas normas, portanto, todos foram adequados para uso em pavimentação. Já os blocos com lodo de curtume, todos

apresentaram valores individuais superiores a 7%.

#### 4.5 Teste de lixiviação

A lixiviação, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), é o processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator. Neste estudo os resultados do ensaio de lixiviação de cromo em blocos de concreto produzidos com adição de lodo de curtume são apresentados no Gráfico 5.



Fonte: Autoria própria (2023)

Observa-se por meio da Figura que os dados indicam que quanto mais tempo os blocos permanecem submersos no tanque, maior a absorção de água e maior a quantidade de cromo lixiviado. Sendo que durante os 3 primeiros dias não houve lixiviação de cromo. Por outro lado, quando as amostras coletadas do 7º ao 36º dia apresentaram concentrações de 0,177 – 0,468 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Foi realizada a comparação com o bloco comercial, onde não se observou lixiviação significativa de cromo (36 dias - 0,064 mg L<sup>-1</sup>). Também, é possível observar na mistura que a quantidade de cromo lixiviado não apresentou concentrações que ultrapassem o limite máximo (5,0 mg/L) indicado pela norma técnica NBR 10004

(ABNT, 2004), portanto sendo possível classificar as amostras como resíduos não perigosos – Classe II.

Malaiškienė, Kizinievič e Kizinievič (2019), verificaram resultado semelhante em seu estudo, onde se utilizou amostras contendo 3–12% de lodo de curtume em peso de cimento e 3–9% de lodo de curtume em peso de areia. Os resultados indicaram no ensaio de lixiviação de cromo de argamassas de cimento, que mesmo com a maior adição de lodo de curtume de 9%, a quantidade de cromo lixiviado não ultrapassa os valores limite de resíduos não perigosos (2,5 mg/L - Conforme Diretriz 2003/33/CE (EUROPEAN UNION 2003).

Resultados semelhantes foram vistos por Ueda, Rubilar e Jabur (2017) e Sgorlon, Bertoli e Gomes (2017), utilizaram lodo de curtume para a produção de argamassas e blocos de concreto e verificaram que quanto mais se adiciona lodo a mistura maior será a lixiviação do cromo, porém mesmo com aumento, não ocorre influência significativa na concentração do contaminante no extrato lixiviado dos blocos fabricados, sendo que todos foram classificados como classe II – Não perigoso.

#### 4.6 Estimativa econômica do custo do material

A incorporação de resíduos sólidos como agregados na produção de blocos de concreto para pavimentação pode contribuir com a redução significativa do descarte de resíduos e redução dos custos de produção (YEO *et al.* 2021). Desta forma, foi realizada uma estimativa de custo.

Para determinar a estimativa econômica de custos, primeiramente levantaram-se os custos das matérias-primas, e as respectivas proporções utilizadas para produzir 1 bloco de concreto referência, posteriormente calculou-se o valor para as substituições de pó de pedra e areia (Tabela 4).

**Tabela 4 - Matérias-primas para produção de um bloco de concreto unitário e os respectivos**

<b>Matérias-primas</b>	<b>Areia</b>	<b>Pedrisco</b>	<b>Cimento</b>	<b>Pó de pedra</b>	<b>Plastificante</b>
Quantidade	0,549 kg	0,755 kg	0,4 kg	1,322 kg	3,0 ml
Valor (R\$)	0,04	0,06	0,25	0,13	0,03
<b>Valor unitário de um bloco</b>					<b>R\$ 0,51</b>

Fonte: Autoria própria (2023)



Após a definição do custo unitário do bloco referência, sendo de R\$0,51, foi calculado o valor de cada substituição, determinando o valor unitário dos blocos com resíduos, conforme Tabela 5.

**Tabela 5 - Valor referente a substituição do pó de pedra e areia.**

<b>Substituição do Pó de pedra</b>		
<b>Traço</b>	<b>Valor correspondente da substituição</b>	<b>Valor do produto unitário</b>
Concreto 30%	R\$ 0,09	R\$ 0,47
Concreto 40%	R\$ 0,08	R\$ 0,46
Concreto 50%	R\$ 0,06	R\$ 0,45
Concreto 60%	R\$ 0,05	R\$ 0,43
Gesso 20%	R\$ 0,10	R\$ 0,48
Gesso 30%	R\$ 0,09	R\$ 0,47
Gesso 40%	R\$ 0,08	R\$ 0,46
Lodo de curtume 20%	R\$ 0,10	R\$ 0,48
Lodo de curtume 30%	R\$ 0,09	R\$ 0,47
<b>Substituição da areia</b>		
Concreto 30%	R\$ 0,03	R\$ 0,50
Gesso 30%	R\$ 0,03	R\$ 0,50
Lodo de curtume 30%	R\$ 0,03	R\$ 0,50

**Obs: valor do pó de pedra e areia no traço referência esta apresentado na Tabela 3.  
Fonte: Autoria própria (2023)**

Após a definição dos valores correspondentes cada substituição de matéria-prima, utilizou-se o modelo matemático que relaciona o percentual de redução de custos em relação à substituição do pó de pedra por resíduos sólidos da construção civil, sendo considerado o modelo matemático (4). Considerou-se apenas a substituição do pó de pedra, devido à redução do custo ter sido mais significativa do que a substituição da areia, além de apresentar melhores resultados nos ensaios. Para determinar o modelo matemático que relaciona o percentual de redução da resistência mecânica do bloco, será considerado o modelo matemático (5);

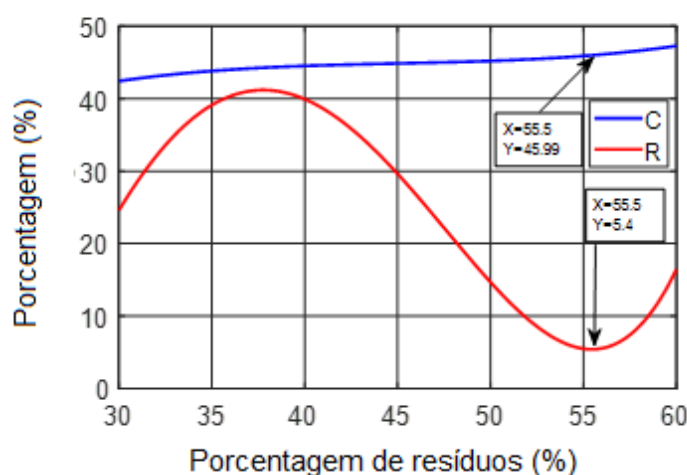
Segundo Tusset *et al.* (2012) as duas funções podem ser aproximadas pelo método dos mínimos quadrados minimizando o erro (Equação 6), sendo possível determinar a Tabela 6, em que mostra as variações de redução de custo e resistência mecânica.

Tabela 6 - Variações de redução de custos e resistência mecânica		
% resíduo	Custo de redução	Redução da resistência
30	42,56671	24,57819598
40	44,09149	39,92537313
50	45,61626	14,6495782
60	47,14104	16,45035691

Fonte: Autoria própria (2023)

Substituindo as equações (4) e (5) em (6) e considerando o método dos mínimos quadrados, obtêm-se os parâmetros e é possível formular a Figura 14, em que demonstra as variações das equações de quantidade de resíduos, conforme a Tabela 6.

Gráfico 6: Relação da variação de custos e redução da resistência mecânica dos blocos



Fonte: Autoria própria (2023)

Como pode ser observado no Gráfico 6, para um percentual de 55,5% de resíduos, a maior redução é obtida para a menor perda de resistência do bloco. Portanto, o ponto de equilíbrio recomendado da substituição máxima do pó de pedra é de 55,5%, sendo possível alcançar economia de custos na produção sem que ocorra alterações na capacidade de resistência mecânica das peças.

Nesse sentido, Hemalatha (2019), descreve em seu estudo que o uso de resíduos para a substituição de matérias-primas nobres na produção de blocos de concreto são viáveis e apresentam redução de custos, economia de energias, redução dos volumes nos aterros, além da economia dos recursos naturais que são finitos.

Resultados semelhantes foram indicados por Zhang *et al.* (2020), Zhang, He, Niu (2020) e Xu *et al.* (2021), que afirmam em seus estudos que, a incorporação de resíduos como o polipropileno (PP) e fibras de aço, melhoram as propriedades mecânicas dos blocos de concreto e reduz o custo de produção.

Kumar, Gupta e Shrivastava (2021b), ainda afirmam que o uso do agregado reciclado de concreto contribui com as propriedades mecânicas dos blocos e permite a substituição do agregado grosso em até 45% e o agregado miúdo em 40%, sem causar impactos nas propriedades do bloco e garantindo a redução de custos.

Portanto, a adição de resíduos reciclados de concreto se mostra vantajoso para a redução de custos, minimização dos impactos sociais e ambientais, além de contribuir com a economia circular dos resíduos, permitindo o uso destes resíduos para a produção de blocos destinados para a pavimentação de ruas e calçadas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de resíduos da construção civil, como agente agregador, proporcionou desempenho satisfatório no comportamento mecânico dos blocos e no comportamento de absorção de água, permitindo assim seu uso para a produção de matéria-prima para a pavimentação de ruas, além de contribuir com a economia circular e a redução de volumes de resíduos sem destinação adequada, passando a ocupar um papel nobre na engenharia de pavimentos.

Quanto ao problema de pesquisa, ao final do estudo foi possível determinar a melhor composição de resíduos reciclados de concreto, gesso e lodo de curtume que podem ser adicionados a produção de blocos de concreto para pavimentação de ruas sem afetar a qualidade do produto final, sendo possível afirmar que os resíduos de lodo de curtume não devem ser utilizados para esta finalidade.

Já o resíduo de concreto e o gesso apresentaram resultados satisfatórios, sendo que os valores que circundam os 50% de resíduos de concreto são os mais adequados para a pavimentação.

Em relação ao objetivo geral da pesquisa de avaliar os parâmetros de qualidade dos blocos de concreto produzidos com os resíduos, notou-se que o estudo foi satisfatório, apresentando oportunidades futuras para as empresas do setor e sendo permitido a substituição de matérias primas nobres por resíduos.

Observou-se também que o comportamento mecânico dos blocos não obteve aumento de resistência em termos de compressão e tração na flexão, porém mesmo sem apresentar melhorias, apresentaram resultados satisfatórios para utilização, se mostrando adequado para a substituição de matérias-primas nobres.

Notou-se que os blocos produzidos com a substituição do pó de pedra por resíduos reciclados de concreto e gesso apresentam melhores resultados, sendo que os mesmos obtiveram melhoria dos resultados de aproximadamente 21,4% com 28 dias de cura do concreto. Ressalta-se ainda, que a substituição de areia atendeu os requisitos solicitados pela norma, porém, as mesmas apresentam quedas de resistência e aumento da absorção de água.

Por fim, foi realizado a análise econômica de custo do material utilizado e notou-se que o bloco referência apresentou custo unitário de R\$0,51 centavos, já o bloco em que se realizou a substituição da areia em 30% apresentou custo unitário de R\$0,50 centavos e o bloco que substituiu o pó de pedra R\$0,47 centavos, ou seja,

redução de 7,84% dos custos com matéria-prima, quando comparado com bloco referência. Observou-se ainda, que para um percentual de 55,5% de substituição de pó de pedra por resíduos, é possível alcançar a maior redução de custos sem comprometer a resistência do bloco. Portanto, o ponto de equilíbrio recomendado da substituição máxima do pó de pedra é de 55,5%, sendo possível alcançar economia de custos na produção sem que ocorra alterações na capacidade de resistência mecânica das peças.

Quanto as limitações do estudo, notou-se grande necessidade de testes e ensaios para a determinação dos melhores resultados de pesquisa, sendo necessário a elaboração de diversos blocos de concreto e posteriormente um grande espaço para armazenamento, portanto sendo um fator limitante para maiores testes e novas formulações que circundassem os valores de 50% de substituição de resíduos.

Enfim, quanto as sugestões de estudos futuros, sugere-se a elaboração de novos estudos que realizem a substituição de resíduos nos valores que circundem os 50%, buscando verificar o ponto de equilíbrio recomendado pela estimativa econômica de custos.

## REFERÊNCIAS

- ABDULMATIN, A.; TANGCHIRAPAT, W.; JATURAPITAKKUL, C. Environmentally friendly interlocking concrete paving block containing new cementing material and recycled concrete aggregate. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 23, n. 12, p. 1467–1484, 2019.
- AHMED, A.; UGAI, K.; KAMEI, T. Investigation of recycled gypsum in conjunction with waste plastic trays for ground improvement. **Constr Build Mater** v. 25, p.208–217, 2011.
- ALMEIDA, K. S. *et al.* Incorporação de resíduo de gesso em formulação para adoquim cerâmico. **Revista Técnica cerâmico Brasileira, Cerâmica Industrial**, v.25, nspe, p. 1-11, 2020.
- AL-OBAIDI, A. R.; AL-ANBARI, R. H.; HASSAN, M. S. Sewage sludge reuse in concrete industry: A review. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 779, n. 1, p. 1–11, 2021.
- ALVES, J. D. **Materiais de Construção**. 1. ed. Goiânia: UFG/CEFET, 1999.
- AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2012.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI – 522R-06**: Pervious Concrete, Michigan, 2006
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 363R-10**: Report on High-Strength Concrete. Farmington Hills, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1754 / C1754M-12**: Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- AMEY, K. B. *et al.* Caractérisation physique de sables silteux au Togo. **Afrique SCIENCE**, v. 10, n. 2, p. 53-69, 2014.
- ANGELI, J. T. S. K.; BOINA, W. L. O.; SIGOLO, J. B. Disponibilidade De Cobre Em Lodo De Curtume: Potencial Contaminante Químico Do Solo. **Colloquium Vitae**, v. 11, n. 2, p. 01–04, 2019.
- ARAÚJO, C. K. C. **Práticas de economia circular no sistema produtivo de painéis de madeira**. 2020. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2020.
- ARAÚJO, V. M. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiros de obras**. 2009. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- ARHIN, D. D. *et al.* Awaso bauxite red mud-cement based composites:

Characterisation for pavement applications. **Case Studies in Construction Materials**, v. 7, p. 45–55, 2017.

ASMT INTERNATIONAL. **ASTM C579-18**: Standard Test Methods for Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing, and Polymer Concretes, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. **ABIQUIM – O desempenho da indústria química brasileira em 2020**. São Paulo: ABIQUIM, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP Manual de Pavimento Intertravado**: Passeio Público. São Paulo: ABCP, 2010. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **ABRELPE - Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **ABRELPE - Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: <[https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama\\_abrelpe\\_2017.pdf](https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf)>. Acesso em: 22 agos. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **ABEPRO Áreas e Subáreas da Engenharia de Produção**. 2021. Disponível em: <<https://portal.abepro.org.br/profissao/>>. Acesso em: 05 de nov. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004/2004**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12118**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Rochas e Solos - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo — Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778:2009** Argamassa e Concreto Endurecidos: Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

ATTRI, G. K.; GUPTA, R. C.; SHRIVASTAVA, S. Impact of recycled concrete aggregate on mechanical and durability properties of concrete paver blocks. **Mater. Today Proc**, v. 42, p. 975–981, 2021.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso  $\beta$  obtido do pólo do Araripe. **Cerâmica**, v.60, p. 501-508, 2014.

BARRETO, R. D.; RIO, M. R. T. D.; GONÇALVES, E. P. **Produção De Pavimento Intertravado Com A Utilização De Resíduos Da Construção Civil Como Agregado Miúdo**. In.: XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba., 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção I**. 5. ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

BAUER, M. W.; GASKELL, G.: **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. 1. ed. Petrópolis: Vozes, 2002.

BAULÉ, S. S. **Avaliação do uso de blocos de concreto para emprego em pavimentação intertravada: análise da fabricação, execução e dimensionamento**. 2018. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

BITTENCOURT, S. F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Tecnologia e Inovação, Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 17.07.2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente



Urbano. **Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos**. 2010. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_arquivos/4\\_manual\\_implantao\\_sistema\\_gestao\\_resduos\\_construo\\_civil\\_cp\\_125.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/4_manual_implantao_sistema_gestao_resduos_construo_civil_cp_125.pdf). Acesso em: 22 agos. 2022.

BRAVO, R. S. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim**. 2014. 75 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Olha Solteira – SP, 2014.

BUTTLER, A. M. **Uso de Agregados Reciclados de Concreto em Blocos de Alvenaria Estrutural**. São Carlos, 2007. 535 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, K. O. **The Influence of the deriving artificial sand of the britagem of rock granite-gnaiss in the properties of the conventional concrete in the cool and hardened state**. 2007. 341 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

CASTRO, R. H. **Estudo da adição de resíduos de construção e demolição em concreto não estrutural**. 2018. 99 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018.

CHAGAS, S. **Materiais da Indústria da Construção**. 1. ed. Maringá-PR.: Unicesumar, 2019. 280 p.

CHAMBI, M. M.; TOFOLLI, S. M. Caracterização de um lodo de cromo proveniente da indústria de couro do distrito industrial de Franca, SP. In: 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 55., 2011, **Anais [...]** Porto de Galinhas, PE, 2011.

CHEN, Z.; LI, J. S.; POON, C. S. Combined use of sewage sludge ash and recycled glass cullet for the production of concrete blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, n. January 2018, p. 1447–1459, 2018.

CHENG, W. N. *et al.* Biorefining waste sludge from water and sewage treatment plants into eco-construction material. **Frontiers in Energy Research**, v.7, p. 1–9. 2019.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **CAPES Considerações sobre Qualis Periódicos: Engenharias III**. 2016. Disponível em: < <http://capes.gov.br> >. Acesso em: 10 nov. 2022.

COSTA, M. J. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland: Aplicabilidade de um Método de Dosagem**. 2005. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Íjuí, 2005.

COUTINHO, J. S. Agregados para argamassas e betões. **Materiais de Construção Civil**, v.1, p. 1-18, 1999.

CRUZ, A. C. F. *et al.* Characterization Of The Cutting Cement And Marble Granite

And Analysis Of The Viability Of Partial Cut Of The Portland Cement For The Production Of Pavers. **Revista Univap**, v. 26, n. 51, p. 91–107, 2020.

CRUZ, T. A. M. *et al.* Avaliação da permeabilidade ao ar e absorção capilar de argamassas de cal, metacaulime gesso. In. Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, 2º, 2019, São Paulo. **Anais [...]**, São Paulo: TECSIC, 2019.

DANTAS, V. B. **Desenvolvimento de blocos de solo cimento utilizando argissolo com incorporação de material armazenador de calor por mudança de fase (MMFs)**. 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, **EN 1338:2003**: Concrete Paving Blocks, Requirements and Test Methods. Brussels, Belgium.

EUROPEAN STATISTICAL OFFICE (EUROSTAT). **Generation of waste by waste category, hazardoussness and NACE**. Rev. 2 activity. 2020.

EUROPEAN UNION. **Directive 2003/33/EC of the European Parliament and of the Council**. Brussels, Belgium, 2003.

FARIAS, G. M. *et al.* Estudo do efeito de modificadores de pega no processo de cristalização e na microestrutura do gesso. **Evolvare Science**, v. 3, n. 1, p. 107-116, 2014.

FARINHA, A. M. P.; SOUZA, F. C. **Pavimento Intertravado de Concreto com adição de Resíduos de óxido Alumínio – SINTER**. 2011. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel Engenharia Civil) - Universidade São Francisco. Itatiba, 2011.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade**. 4. ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2013. 200 p.

FERNANDES, I. **Blocos e pavers: produção e controle de qualidade**. 1. ed. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais LTDA, 2008.

FOPPA, D. **Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia Porto Alegre-RS, 2005.

GEISSDOERFER, M. *et al.* The Circular Economy—A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GERALDO, R.H. *et al.* Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution. **Journal of Cleaner Production**, v.164, p. 288-300, 2017.

GIL. A. C.; **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GLÓRIA, M. V. A.; RIBEIRO JUNIOR, L. C.; SOUSA, F. H. F. Reciclagem e

reutilização de resíduos da construção civil e demolição. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 09, n. 11, p. 61-80, 2020, Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/reciclagem-e-reutilizacao>> Acesso em: 02 agos. 2022.

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

GONÇALVES, G. **Efeitos da adição de resíduo de cinza de caldeira em misturas de solo e cimento na absorção de água e na resistência à compressão simples**. 2021. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GROOT, G. D.; SLOOT, H. V. Determination of Leaching Characteristics of Waste Materials Leading to Environmental Product Certification. In: Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes: **2nd V. ASTM International**, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, p 149-420, 1992.

GUO, Z. *et al.* Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 136–149, 2018

HEASMAN, L. *et al.* **Harmonization of Leaching/Extraction Tests**. 1. ed. Elsevier, 1997.

HEMALATHA, D. Reuse of Waste Plastics and Demolition Waste in the Development of Plastic Paver Block. **Journal Of Scientific & Industrial Research**, v. 78, n. 4, p. 248–250, 2019.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 6274/1982**: Concrete - Sieve analysis of aggregates. Distributed through American National Standards Institute (ANSI), 1982.

JOSUÉ, T. G. *et al.* Cr (VI) reduction by photocatalytic process: Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> an alternative catalyst. **Journal of Environmental Management**, v. 268, p. 110711-110720, 2020.

KATAYAMA, D. **Estudo da influência da granulometria do agregado graúdo nas propriedades do concreto de alto desempenho**. 2016. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

KOHARA, J. T. S.; BOINA, W. L. O. Caracterização física e química de lodo de curtume. **Colloquium Exactarum**, v. 9, n.4, p.08–14, 2017.

KUMAR, A. G.; GUPTA, R. C.; SHRIVASTAVA, S. Effect of demolished concrete and stone crusher dust on properties of M-40 grade paver blocks. **Materials Today: Proceedings**, 2021a.

KUMAR, A. G.; GUPTA, R. C.; SHRIVASTAVA, S. Impact of recycled concrete aggregate on mechanical and durability properties of concrete paver blocks. **Materials Today: Proceedings**, v. 42, p. 975–981, 2021b.

KUMAR, G.; SHRIVASTAVA, S.; GUPTA, R. C. Paver blocks manufactured from construction & demolition waste. **Materials Today-Proceedings**, v. 27, n. 1, p. 311–317, 2020.

LERMEN, F. H. *et al.* A framework for selecting lean practices in sustainable product development: The case study of Brazilian Agroindustry. **Journal of Cleaner Production**, v. 191, p. 261-272, 2018.

LIU, X. *et al.* Navigating Transitions for Sustainable Infrastructures - The Case of a New High-Speed Railway Station in Jingmen, China. **Sustainability**, v. 11, n. 15, p. 4197, 2019.

MALAIŠKIENĖ, J.; KIZINIEVIČ, O.; KIZINIEVIČ, V. A Study on Tannery Sludge as a Raw Material for Cement Mortar. **Materials**, v. 12, n. 9, p. 1562-1574, 2019.

MARAFÃO, I.; CORADI, C. **A economia circular na indústria da construção civil**. In.: I Seminário Internacional de Arquitetura e Urbanismo, 1., 2021, **Anais [...]**, Santa Catarina, 2021. UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina, 2021

MARCHIONI, M. L. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Construção Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MARCHIORI, J. C. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de tijolos Solo-cimento prensados com a incorporação de materiais Alternativos**. 2020. 120 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Instituto Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2020.

MARION, A. M; LAÈVE, M.; GRAUW, A. Study of the leaching behaviour of paving concretes: quantification of heavy metals content in leachates issued from tank test using demineralized water. **Cement and Concrete Research**, p. 951- 957, 2005

MATUTI, B. B.; SANTANA, G. P. Reutilização de resíduos de construção civil e demolição na fabricação de tijolo cerâmico – uma revisão. **Scientia Amazonia**, v. 8, n.1, p. E1-E13, 2019.

MEHTA, P. K. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e**

**materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, S. E. S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. 2002. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

MENG, Y.; LING, T. C.; MO, K. H. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 298-312. 2018.

MOHAJERANI, A. *et al.* A proposal for recycling the world's unused stockpiles of treated wastewater sludge (biosolids) in fired-clay bricks. **Buildings**, v.9, n.14, p. 1-22, 2019.

MOHAPATRA, P. D. *et al.* Optimized structural performance of paver blocks of bajri concrete: Nrm partly substituting cement. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, v. 9, n. 1, p. 1938–1949, 2019.

MONTEIRO, M. Economia Circular. **Start & Go**, v. 1, n. 20, p.3-3, abr. 2018.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **J Bus Ethics**, v. 140, n. 3, p. 69–380, 2017.

NAMARAK, C. *et al.* Development of concrete paving blocks prepared from waste materials without Portland cement. **Medziagotyra**, v. 24, n. 1, p. 92–99, 2018.

NEN 7345. **Determination of Leaching From Monolithic Construction Materials and Waste Materials by Means of a Diffusion**. Test of the Royal Netherlands Standardization Institute, 1995.

NEVES, C. M. M. *et al.* **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra-práticas de campo**. Rede Ibero-Americana PROTERRA. 2010. Disponível em: <[https://www.promemoria.indaiatuba.sp.gov.br/arquivos/proterra-selecao\\_de\\_solos\\_2010.pdf](https://www.promemoria.indaiatuba.sp.gov.br/arquivos/proterra-selecao_de_solos_2010.pdf)>. Acesso em: 06 jul. 2022.

OLIVEIRA, A. C. V.; SILVA, A. S.; MOREIRA, Í. T. A. Economia Circular: Conceitos E Contribuições Na Gestão De Resíduos Urbanos. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 3, n. 44, p. 273 – 289, 2019.

OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. 2004. 296 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, H. M. Cimento Portland. In: **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. cap. 3, p. 35-62.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact

factor, number of citation, and year of publication. **Journal Scientometrics**. v. 105. p 2109–2135, 2015.

PAIVA, O. A. **Resíduo Industrial de vidro moído em argamassa de cimento Portland**. 2009. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009.

PEREIRA, C. **Piso intertravado: O que é, principais tipos, vantagens e desvantagens**. Escola Engenharia. 2019. Disponível em: < <https://www.escolaengenharia.com.br/piso-intertravado/>> Acesso em: 17 de out. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. PMSP/SP IP-06 – **Instruções para Dimensionamento de Pavimento com Blocos Intertravados de Concreto**. 1999. **propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura**. 2000. 279 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Interunidades Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

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

PUENTE, B. **Geração de resíduos no mundo deve chegar a 3,4 bilhões de toneladas por ano até 2050**. CNN BRASIL, 2022. Disponível em: < <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/geracao-de-residuos-no-mundo-deve-chegar-a-34-bilhoes-de-toneladas-por-ano-ate-2050/> >. Acesso em: 05 nov. 2022.

RAMOS FILHO, R. E. B. *et al.* Compósito de resíduos de mineração com cimento e cal para materiais de construção sustentáveis. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 54, p. 193-205, 2021.

RUBIO, M. P. *et al.* Concrete properties comparison when substituting a 25% cement with slag from different provenances. **Materials**, v. 11, n. 6, p. 1-13, 2018.

SABOO, N. *et al.* Effect of the use of recycled asphalt pavement (RAP) aggregates on the performance of pervious paver blocks (PPB). **Construction And Building Materials**, v. 262, p. 120581- 120597, 2020.

SALVADOR FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Reserach methods for business students**. 5. Ed. [S.L]: Prentice Hall, 2009.

SCHMAL, M. **Catálise Heterogênea**. 1. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE – **Tendências para o setor da Construção civil em 2022**. 2022.

Disponível em: < <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/tendencias-para-o-setor-da-construcao-civil-em-2022,00e74abc0fede710VgnVCM100000d701210aRCRD>> Acesso em: 26 jul. 2022.

SGORLON, J. G.; BERTOLI, R. F.; GOMES, M. C. S. Utilização De Resíduo Sólido Industrial Na Fabricação De Blocos De Concreto Para Pavimentação: Estudo Do Comportamento Físico, Químico E Mecânico Da Matriz Cimentícia. In: 8° FORUM INTERNACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, 8., 2017, **Anais [...]** Curitiba, 2017.

SHAMBHARKAR, R. *et al.* Utilization of Fly Ash & Coir Fiber in Manufacturing of Paver Blocks. **International Journal of Engineering Science and Computing IJESC**, v. 11, n. 05, p. 27967–27971, 2021

SILVA, I. J. **Contribuição ao estudo dos concretos de elevado desempenho: propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura**. 2000. 279 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Interunidades Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SILVA, L. A. *et al.* Performance of cementitious matrices incorporating concrete floor polishing sludge waste. **Construction and Building Materials**, v. 265, p. 120119-120131, 2020.

SILVA, R. L. **Influência da substituição de agregado miúdo natural por resíduos de bloco cerâmico e areia de fundição nas propriedades físico mecânicas de argamassas**. 2019. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2019.

SILVA, R. N. **Um estudo sobre o concreto de alto desempenho**. 2010. 57 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.

SILVA, T. K. S. *et al.* Estudo da impermeabilização do gesso de revestimento através da síntese do compósito hidrofóbico de gesso/silicone. **Revista Matéria**, v.27, n.4, p. 1-13 2022.

SOUZA, J. M. **Tijolos de solo-cimento produzidos com manipueira em substituição à água**. 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SOUZA, M. M.; ANJOS, M. A. S.; SÁ, M. V. V. A. Using scheelite residue and rice husk ash to manufacture lightweight aggregates. **Construction and Building Materials**, v.270, p. 121845- 121858, 2021.

STANDARDS AUSTRALIA. **AS/NZS 4456.4-2003**: Masonry units and segmental pavers and flags - Methods of test - Determining compressive strength of masonry units, 2003.

STOLZ, C. M; MASUERO, A. B. Influence of grains distribution on the rheological behavior of mortars. **Construction and Building Materials**, v. 177, p. 261-271,

2018.

STUMM, M. G. **Elementos de Economia Circular**. Curitiba: Fiep – Federação das Indústrias do Paraná, 2019.

TATARANNI, P. Recycled Waste Powders for Alkali-Activated Paving Blocks for Urban Pavements: A Full Laboratory Characterization. **Infrastructures**, v. 4, n. 4, p. 73-88, 2019.

TEODORO, S. B. **Avaliação Do Uso Da Areia De Britagem Na Composição Do Concreto Estrutural**. 2013. 65 f. Trabalho Final de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

THE SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARDS. **SANS 1058**: Concrete paving blocks. South Africa, 2018.

TOMAZ, K. B. C.; MORAES, R. V. C. F. **Reutilização de resíduos de construção na confecção de concreto**. 2017. 27f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Faculdade Capixaba de Nova Venécia, Nova Venécia-ES, 2017.

TUSSET, A. M. *et al.* Statements on chaos control designs, including a fractional order dynamical system, applied to a “MEMS” comb-drive actuator. **Nonlinear Dyn**, v. 69, p. 1837–1857, 2012.

UDAWATTHA, C.; GALABADA, H.; HALWATURA, R. Mud concrete paving block for pedestrian pavements. **Case Studies in Construction Materials**, v. 7, p.249–262, 2017.

UEDA, A. C.; RUBILAR, C. S.; JABUR, A. S. Avaliação da lixiviação de cromo e alumínio em matriz cimentícia contendo lodo de curtume tratado com coagulante  $pg\alpha 21ca$  e sulfato de alumínio. In: 8° FORUM INTERNACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, 8., 2017, **Anais [...]** Curitiba, 2017.

UNITED NATION. UN. **The millennium development goals report 2015**. New York: United Nations, 2015.

VALDÉS, A. J. *et al.* Mechanical and microstructural characterization of non-structural precast concrete made with recycled mixed ceramic aggregates from construction and demolition wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, 482–493, 2018.

WANG, X.; CHIN, C. S.; XIA, J. Material characterization for sustainable concrete paving blocks. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 6, p. 1197-1210, 2019.

WISE, S. S.; WISE, J. P. Chromium and genomic stability. **Mutation Research/ Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 733, p. 78–82, 2011.

XU, F. *et al.* Mechanical properties and pore structure of recycled aggregate concrete



made with iron ore tailings and polypropylene fibers. **Journal of Building Engineering**, v. 33, p.101572, 2021.

YEO, J. S. *et al.* An overview on the properties of eco-friendly concrete paving blocks incorporating selected waste materials as aggregate. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p.29009–29036, 2021.

ZHANG, P. *et al.* Mechanical properties and durability of polypropylene and steel fiber-reinforced recycled aggregates concrete (FRRAC): A review. **Sustainability**, v. 12, p.1–28, 2020.

ZHANG, S.; HE, P.; NIU, L. Mechanical properties and permeability of fiber-reinforced concrete with recycled aggregate made from waste clay brick. **J. Clean. Prod**, v. 268, p.121690, 2020.

ZHAO, Z. *et al.* Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: An industrial scale study. **Resources Conservation And Recycling**, v. 157, p. 104786- 104799, 2020.

**APÊNDICE A - Súmula curricular**

## SÚMULA CURRICULAR

**Nome: Valderice Herth Junkes**

### 1) Formação

Ano	Título ou atividade	Instituição
2018	Graduação	Engenharia de Produção Agroindustrial
2020	Pós-Graduação	Controladoria e Finanças
2021	Graduação	Gestão Pública
2022	Graduação	Engenharia Civil
2022	Especialização	MBA em Gestão de Projetos – Avaliação Econômica e Técnicas de Gerenciamento
2023	Mestrado	Engenharia de Produção
Cursando	Pós-graduação	Docência no Ensino Superior: Tecnologias Educacionais e Inovação

### 2) Histórico profissional.

- Assessora Executiva de Engenharia de Convênios na Prefeitura Municipal de Nova Tebas - maio de 2018 a março de 2021 (afastamento para qualificação).
- Gerente de Projetos em construções civis – Empresa Cardoso – Agosto de 2021 a Janeiro de 2022.

### 3) Prêmios

- 2022 - Melhor artigo científico (2º lugar) do XII CONCCEPAR - Congresso Científico Cultural do Estado do Paraná, Centro Universitário Integrado de Campo Mourão. - Campo Mourão.
- 2017 - Melhor artigo científico (1º lugar) do XI EEPA - Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, Colegiado de Engenharia de Produção Agroindustrial/ Universidade Estadual do Paraná.
- 2017 - Melhor artigo científico (2º lugar) do XI EEPA - Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, Colegiado de Engenharia de Produção Agroindustrial/ Universidade Estadual do Paraná.

### 4) Lista de até 10 resultados científicos recentes

- **JUNKES, V. H.**; LENZI, G. G. ; RODRIGUES, P. H. . Waste valorization for the concrete block production: a sustainable solution. In: 9th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, 2022, Corfu. Sustainable Solid Waste Management, 2022. v. 1. p. 1.
- **JUNKES, V. H.**; LENZI, G. G. ; GUADAGNIN, M. F. ; NASCIMENTO, M. R. . USO DE RESÍDUOS RECICLADOS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO DE RUAS. In: CONCCEPAR: Congresso Científico Cultural do Estado do Paraná, 2022, Campo Mourão. Anais do XII CONCCEPAR, 2022.
- **JUNKES, V. H.**; MARCELINO, A. C. ; MATOS, C. ; LERMEN, F. H. . Gestão de projetos na construção civil ? Estudo de caso em obras públicas. PRODUTO E PRODUÇÃO, v. 23, p. 87-99, 2022.

- **JUNKES, V. H.;** GUADAGNIN, M. F. . DESAFIOS DO GERENCIAMENTO DE PROJETOS EM OBRAS PÚBLICAS. In: CONCCEPAR: Congresso Científico Cultural do Estado do Paraná, 2022, Campo Mourão. Anais do XII CONCCEPAR, 2022.
- **JUNKES, V. H.;** GROFF, A. M. . Rendimento e qualidade de morangos produzidos em dois sistemas de produção. Brazilian Journal of Development, v. 6, p. 55125-55134, 2020.
- **JUNKES, V. H.;** GROFF, A. M. . Rendimento e vida de prateleira de morangos produzidos em dois sistemas de produção. In: VIII Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul e VIII Simpósio Nacional do Morango, 2018, Pelotas. VIII Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul e VIII Simpósio Nacional do Morango, 2018.
- **JUNKES, V. H.;** GROFF, A. M. ; ASSAD FILHO, N. . Uso de revestimento à base de gelatina na conservação de morangos em dois estádios de maturação. In: VIII Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul e VIII Simpósio Nacional do Morango, 2018, Pelotas. VIII Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul e VIII Simpósio Nacional do Morango, 2018.
- SANTOS, A. C. ; OLIVEIRA, B. A. ; **JUNKES, V. H. ;** PEDROSO, M. A. M. ; GOMES, I. F. . AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EM PEQUENAS, MÉDIAS E GRANDES EMPRESAS: UM ESTUDO TEÓRICO. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2017, Joinville. Anais Eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2017.
- **JUNKES, V. H.;** GROFF, A. M. ; BELINE, E. L. . PONTOS DE COMPRA DA CARNE BOVINA - ESTUDO DE CASO COM UNIVERSITÁRIOS DE CAMPO MOURÃO. In: X EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica, 2017, Maringá. X EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica, 2017.
- **JUNKES, V. H.;** GROFF, A. M. ; ASSAD FILHO, N. . CONSERVAÇÃO DE MORANGOS COM REVESTIMENTO À BASE DE GELATINA. In: X EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica, 2017, Maringá. X EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica, 2017.

##### 5) **Projetos de pesquisa**

- 2021- 2023 – Mestrado em Engenharia de Produção - Produção de blocos de concreto com adição de resíduos da construção civil e indústria química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/ Campus Ponta Grossa).
- 2017-2018 – Iniciação Científica - Rendimento e qualidade de morangos produzidos em dois sistemas de produção – Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR/ Campus Campo Mourão)
- 2016-2017 – Iniciação Científica - Conservação do morango com revestimentos comestíveis a base de gelatina – Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR/ Campus Campo Mourão)
- 2015-2016 – Iniciação Científica - Parâmetros considerados pelos consumidores para a compra de carne bovina ? Pesquisa com universitários no município de

Campo Mourão- PR – Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR/ Campus Campo Mourão)

6) **Cursos de curta duração Ministrados**

2017 - Curso de Física Básica - Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR/ Campus Campo Mourão)

7) **Link**

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5217725614794222>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?hl=pt-BR&user=WWxrpIAAAAJ>

8) **Outras informações**

- Desenvolvimento de projetos e layout de fábricas – Prefeitura Municipal de Nova Tebas