

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

MARINA CECYN

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUOS DE CERÂMICA  
VERMELHA

Joinville

2023

MARINA CECYN

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUOS DE CERÂMICA  
VERMELHA

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Valéria Bennack

Joinville

2023

MARINA CECYN

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUOS DE CERÂMICA  
VERMELHA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 14 de junho de 2023.

**Banca Examinadora:**

---

Dra. Valéria Bennack  
Orientadora  
Presidente

---

Dra. Anelize Borges Monteiro  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Eng. Monique Fin de Oliveira  
Membro  
Perville Engenharia

Dedico este trabalho aos meus pais, Tufi e Maria Rosane e aos meus irmãos Leonardo e Rafael, por todo apoio, incentivo e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Nesta longa jornada nunca estive sozinha, agradeço, principalmente, aos meus pais, Maria Rosane e Tufi por me ensinarem que todo esforço é recompensado. Todas as palavras de incentivo foram decisivas nos momentos de desânimo. Obrigada meus pais e irmãos, Leonardo e Rafael, por todo apoio, incentivo, amor e por sempre acreditarem no meu sonho. Agradeço por serem a minha base e por não medirem esforços e dedicação em me ajudar a completar esse ciclo. Sem vocês do meu lado isso não seria possível.

Agradeço ao meu namorado, Jefferson Mika, por todo incentivo, amor, compreensão, paciência e principalmente, pelo companheirismo.

A todos os meus amigos, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como profissional.

Aos professores, em especial à minha orientadora, Valéria Bennack, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

À Perville Engenharia, em especial a Monique e Letícia, que me auxiliaram nos ensaios deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que estiveram presente na minha caminhada acadêmica até aqui, contribuindo para o término desta etapa da minha vida.

“Nossa maior fraqueza é a desistência. O caminho mais certo para o sucesso é sempre tentar apenas uma vez mais.”

(Thomas Edison)

## RESUMO

A construção civil é uma das principais fontes de geração de resíduos em todo o mundo. Essa indústria, apesar de ser um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico e social, é responsável por produzir uma quantidade significativa de resíduos, além do impacto gerado pelo uso de matéria prima em larga escala. No entanto, cada vez mais, há uma crescente conscientização sobre a importância da gestão sustentável dos resíduos e da escassez de recursos naturais. Medidas como a redução, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos estão sendo adotadas para minimizar o impacto ambiental e promover a sustentabilidade na indústria da construção, diminuindo os impactos gerados por esse setor. Tendo em vista esse cenário, a reutilização desses resíduos no desenvolvimento de outros materiais é uma das formas possíveis de reduzir os danos causados pelo consumo desordenado de matéria prima. Baseado no cenário exposto, este presente trabalho tem por objetivo avaliar a possibilidade de uso de um concreto com substituição parcial do cimento por resíduo de cerâmica vermelha (RCV) em percentuais de substituição de 15% e 25% como alternativa de reaproveitamento desses materiais. Com o propósito de analisar a utilização de resíduos de tijolos cerâmicos no concreto e verificar a importância da cura no ganho de resistência, foram realizados ensaios físicos e mecânicos como resistência à compressão simples, tração por compressão diametral, índice de vazios, absorção de água e densidade relativa. De acordo com os ensaios realizados, foi possível verificar a influência do RCV nas propriedades do concreto. Em relação ao concreto no estado fresco, à medida que se aumentou o teor de substituição observou-se uma perda da trabalhabilidade, sendo assim, a relação água/cimento foi ajustada a fim de se manter a mesma trabalhabilidade para todos os traços. Já no concreto no estado endurecido, observou-se uma queda de resistência à compressão e à tração, de até 42% e 35%, respectivamente, em relação ao traço de referência. Dessa forma, constatou-se que a substituição parcial do cimento pelo RCV não trouxe benefícios em relação às propriedades do concreto, necessitando de mais pesquisas para determinar sua viabilidade.

**Palavras-chave:** Cerâmica Vermelha. Sustentabilidade. Concreto. Resíduo.

## ABSTRACT

Civil construction is one of the main sources of waste generation worldwide. This industry, despite being one of the most important sectors for economic and social development, is responsible for producing a significant amount of waste, in addition to the impact generated by the large-scale use of raw materials. However, there is a growing awareness of the importance of sustainable waste management and the scarcity of natural resources. Measures such as the reduction, reuse, recycling, and proper disposal are being adopted to minimize the environmental impact and promote sustainability in the construction industry, reducing the impacts generated by this sector. In view of this scenario, the reuse of these waste materials in the development of other materials is a way to reduce the damage caused by the disordered consumption of raw materials. Based on the facts presented, this study aims to evaluate the results and the possibility of using a concrete with partial replacement of cement by red ceramic waste (RCW) in replacement percentages of 15% and 25% as an alternative to reuse these materials. In order to analyze the use of ceramic brick waste in concrete and verify the importance of healing in the gain of resistance, physical tests were performed to evaluate the compressive strength, tensile strength by diametrical compression, open porosity test, water absorption and relative density. According to the tests performed, it was possible to verify the influence of RCW on the mechanical properties of concrete. Regarding the fresh concrete, as the replacement content increased there was a loss of workability, so the water/cement ratio was adjusted in order to maintain the same workability for all mixtures. In the hardened concrete, there was a drop in compressive and tensile strengths of up to 42% and 35%, respectively, in relation to the reference mixture. Therefore, it was found that the partial replacement of cement by RCW did not bring benefits in relation to the properties of concrete, requiring further research to determine its viability.

**Keywords:** Ceramic bricks. Sustainability. Concrete. Waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resíduo de cerâmica vermelha coletado em obra.....	30
Figura 2 - Metodologia do trabalho.....	31
Figura 3 - Resíduo moído manualmente.....	32
Figura 4 - Moinho de bolas SERVITECH.....	33
Figura 5 - Jarro e esferas de cerâmica.....	33
Figura 6 - Conjunto de peneiras para determinação de distribuição granulométrica.	35
Figura 7 - Slump test do traço referência.....	37
Figura 8 - Slump test dos três traços realizados.....	38
Figura 9 - Moldagem dos corpos de prova.....	39
Figura 10 - Corpos de prova desmoldados.....	40
Figura 11 - Massa específica do concreto fresco.....	41
Figura 12 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	42
Figura 13 - Rompimento dos corpos de prova.....	51
Figura 14 - Corpos de prova rompidos no ensaio de tração por compressão diametral.....	53

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Curva granulométrica agregado graúdo

Gráfico 2 - Curva granulométrica agregado miúdo

Gráfico 3 - Resistência à compressão simples em 28 dias (MPa)

Gráfico 4 - Absorção de água e índice de vazios

Gráfico 5 - Densidade aparente do concreto

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Fatores que influenciam a trabalhabilidade

Quadro 2 - Propriedades físicas do comando CP IV - 32

Quadro 3 - Série de peneiras

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de material necessários para moldagem de cada traço (em kg).....	36
Tabela 2 - Composição dos traços do concreto.....	38
Tabela 3 - Análise granulométrica agregado graúdo natural.....	45
Tabela 4 - Análise granulométrica agregado miúdo.....	46
Tabela 5 - Variação da relação a/c.....	48
Tabela 6 - Massa específica do concreto fresco.....	48
Tabela 7 - Resistência à Compressão Simples.....	49
Tabela 8 - Comparação dos resultados obtidos.....	51
Tabela 9 - Resistência à Compressão Diametral.....	52
Tabela 10 - Relação entre resistência à tração e compressão.....	53
Tabela 11 - Resultado dos índices físicos do concreto.....	54

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Consumo de cimento

Equação 2 - Massa específica aparente do concreto, em quilogramas por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ )

Equação 3 - Absorção de água (%)

Equação 4 - Índice de vazios ou porosidade aberta (%)

Equação 5 - Densidade aparente

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

$\mu\text{m}$  - micro milímetro

a/c - água/cimento

ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAD – Concreto de alto desempenho

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

cm - Centímetro

$\text{cm}^3$  - Centímetro cúbico

CP – Corpo de prova

CTJ - Centro Tecnológico de Joinville

$\text{dm}^3$  - Decímetro cúbico

fc - Resistência à compressão simples

Fck - Feature Compression Know

g - Grama

hrs - horas

kg - Quilograma

$\text{kgf/cm}^2$  - Quilograma-força por centímetro quadrado

$\text{m}^3$  Metro cúbico

ml - mililitro

mm - milímetro

MPa - Mega Pascal

NBR - Norma Brasileira

$p_{ap}$  - Massa específica aparente do concreto

$^{\circ}\text{C}$  - Grau Celsius

RCD – Resíduos da construção e demolição

RCV - Resíduos da cerâmica vermelha

RCW - Red Ceramic Waste

RPM - Rotação por minuto

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

T0 - Traço sem substituição

T15 - Traço com substituição de 15% do cimento por resíduo cerâmico

T25 - Traço com substituição de 25% do cimento por resíduo cerâmico

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	15
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>16</b>
2.1 Concreto de Cimento Portland	16
<b>2.1.1 Cimento Portland</b>	<b>17</b>
2.1.1.1 Consumo de cimento	18
2.1.2 Agregados	19
2.1.3 Água	20
2.1.4 Aditivos químicos	21
2.1.5 Adições	22
2.1.5.1 Material pozolânico	22
2.2 CERÂMICA VERMELHA	23
2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO	23
<b>2.3.1 Trabalhabilidade</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2 Resistência</b>	<b>25</b>
<b>2.3.3 Porosidade</b>	<b>25</b>
2.4 CURA DO CONCRETO	26
2.5. CONCRETO DE REFERÊNCIA	27
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>28</b>
3.1 MATERIAIS	28
<b>3.1.1 Agregados</b>	<b>28</b>
<b>3.1.2 Cimento</b>	<b>28</b>
<b>3.1.3 Água</b>	<b>29</b>
<b>3.1.4 Resíduo de cerâmica vermelha</b>	<b>29</b>
3.2 MÉTODOS	30
<b>3.2.1 Caracterização do resíduo de cerâmica vermelha</b>	<b>31</b>
<b>3.2.2 Caracterização dos agregados</b>	<b>34</b>
<b>3.2.3. Dosagem de concreto e execução</b>	<b>35</b>
<b>3.2.4 Execução dos corpos-de-prova (CP's)</b>	<b>38</b>
<b>3.2.5 Massa específica do concreto fresco</b>	<b>40</b>
<b>3.2.6 Ensaio de compressão axial simples</b>	<b>41</b>
<b>3.2.7 Determinação da resistência à tração por compressão diametral</b>	<b>42</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>45</b>
4.1. PROPRIEDADES FÍSICAS DO AGREGADO GRAÚDO	45
4.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO AGREGADO MIÚDO	46

4.3. RESULTADOS DO ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST)	47
4.4. RESULTADO MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO	48
4.5. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES	49
4.6. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	52
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da urbanização e o crescimento das áreas urbanas, houve um aumento na demanda por infraestrutura e unidades residenciais, impulsionando o setor da construção civil. Esse crescimento trouxe benefícios econômicos e sociais, contudo, também gerou problemas relacionados ao descarte irregular e excesso de resíduos (PINTO, 2005).

A construção civil é vital para o desenvolvimento econômico e social, mas também gera impactos ambientais significativos por meio do consumo de recursos naturais, modificação da paisagem e geração de resíduos. Esses resíduos são frequentemente descartados de forma desordenada, resultando em impactos ambientais graves o que demonstra a falta de responsabilidade e desperdício do setor (PINTO, 2005).

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2009), o setor consome 75% dos recursos naturais e 20% da água nas cidades. Atualmente, o setor da Construção Civil vem reconhecendo a importância de desenvolver materiais e processos construtivos que sejam ambientalmente sustentáveis. Essa conscientização impulsiona a busca por soluções que visam reduzir os danos ao meio ambiente (ROCHA; JOHN, 2003).

No Brasil, aproximadamente 47 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são gerados anualmente, e uma parcela significativa desses resíduos poderia ser reaproveitada como adições minerais em concretos e argamassas. Um exemplo desses resíduos é o resíduo de cerâmica vermelha (RCV) (ABRELPE, 2021).

O emprego de adições minerais na produção de cimentos e concretos tem crescido nos últimos anos, impulsionada por fatores econômicos e ambientais. Além de melhorar o desempenho e a durabilidade desses materiais, as adições minerais trazem vantagens como a redução de custos e maior sustentabilidade na cadeia produtiva do cimento. Elas permitem a reciclagem de subprodutos ou resíduos industriais, diminuem as emissões perigosas liberadas durante a fabricação, reduzem o consumo de energia e, em alguns casos, minimizam o uso de recursos naturais não renováveis (GARCIA; CABRAL JUNIOR; QUARCIONI, 2014).

O resíduo de cerâmica vermelha é composto por blocos cerâmicos, telhas cerâmicas e outros materiais similares. Ao reutilizar esse tipo de resíduo, é possível minimizar o consumo de recursos naturais e energéticos, resultando em economia de custos. Segundo Zimbili et al. (2014), cerca de 30% do material cerâmico fabricado é descartado, evidenciando a importância de buscar maneiras inovadoras de reutilizar os resíduos cerâmicos.

Mohit e Sharifi (2019) conduziram um estudo sobre a substituição do cimento por resíduo cerâmico. Eles observaram que a substituição de até 10% resultou em um aumento na resistência mecânica à compressão. Esse aumento pode ser atribuído ao potencial pozolânico da alta concentração de sílica presente na cerâmica vermelha. Já Vieira (2005), realizou um estudo substituindo parcialmente o cimento por resíduo de cerâmica em teores de 20% e 40%, e notou-se uma redução na resistência simples à compressão, contudo, a redução não foi proporcional ao teor de substituição, obtendo um resultado de 95% e 89% de resistência em relação ao seu traço referência.

A utilização de resíduos no desenvolvimento de novas soluções pode ser considerada uma alternativa para o problema em questão, além de uma oportunidade de desenvolver materiais de baixo custo a partir de resíduos de construção disponíveis localmente, sendo possível explorar seu potencial e suas usabilidades. Diante disto, este estudo visa analisar o desempenho de concretos com a substituição parcial do cimento por resíduos de cerâmica vermelha, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais ligados ao uso destes materiais, além de contribuir para o avanço do conhecimento nessa área.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Analisar o comportamento mecânico do concreto com a substituição parcial do cimento por resíduo de cerâmica vermelha.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar os agregados graúdos, miúdos e os resíduos de tijolos cerâmicos através de ensaios de granulometria;
- Definir dosagem para a substituição de cimento por resíduo de cerâmica vermelha;
- Avaliar as propriedades mecânicas de resistência à compressão axial e diametral do concreto;
- Determinar índices físicos para os traços propostos (índice de vazios, absorção de água e densidade relativa);
- Comparar desempenho mecânico entre o concreto com substituição e o concreto convencional.
- Avaliar a influência da cura no ganho de resistência do concreto.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Concreto de Cimento Portland

O concreto de cimento é um dos materiais mais utilizados na construção civil e essenciais na atualidade, embora não seja tão resistente quanto o aço, o concreto apresenta características e aplicabilidades que o tornam viável e versátil, além de apresentar uma excelente resistência a água, sendo o ideal para estruturas que são destinadas a controlar, estocar e transportar água, bem como para elementos estruturais, que podem ser executados em diversas formas e tamanhos devido a sua resistência plástica (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Outra razão para o uso do concreto é seu baixo custo e sua acessibilidade na obra, isso se deve ao fato de os materiais que o constituem, possuem um baixo custo e podem ser encontrados em qualquer lugar do mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Neville e Brooks (2013), o concreto nada mais é que uma massa produzida a partir do uso de um cimentante, sendo geralmente o produto de reação entre o cimento hidráulico e a água. Os mesmos autores afirmam que o concreto pode ser produzido a partir de vários tipos de cimentos, podendo conter pozolana, adições minerais, agregados convencionais ou de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras, a fim de modificar suas propriedades físicas e químicas para uma determinada finalidade.

Sua descoberta ocorreu em meados do século XIX e utilização intensiva no século XX, tornando-o o segundo material mais utilizado pelo homem, ficando atrás somente do consumo da água. O uso do cimento revolucionou a arte de projetar e construir estruturas cuja evolução sempre esteve ligada ao desenvolvimento das culturas em torno do mundo e da história da humanidade (HELENE e ANDRADE, 2010).

O concreto de cimento Portland é o resultado da mistura, de quantidades traçadas, de água, cimento Portland e agregados (pedra e areia), que quando misturados, recebem o nome de dosagem. Para se obter a resistência desejada, é necessário realizar uma boa seleção dos materiais que compõem o concreto, conhecendo as propriedades de cada um, além de definir a proporção de cada

material, visto que eles influenciam diretamente na resistência do concreto (ALMEIDA, 2002).

No Brasil, assim como em outros países ao redor do mundo, o concreto possui um papel fundamental na construção civil, sendo o principal material mais consumido na construção. Ao olhar a história da humanidade, principalmente na história da arquitetura e engenharia, é interessante observar como as grandes mudanças, principalmente na forma de construir, se devem à descoberta de novos materiais estruturais e como o domínio do conhecimento sobre materiais estruturais marcaram o poder e a evolução das nações ao passar dos anos (HELENE e ANDRADE, 2010).

### **2.1.1 Cimento Portland**

A origem do cimento se deu no Egito, porém em 1824, um químico e construtor inglês, Joseph Aspdin patenteou o "cimento Portland", uma mistura composta por pedras calcárias e argila queimadas, que dava origem a um pó fino que depois de ser misturado com água e seco, se transformava em um material tão resistente quanto o que era usado nas construções da época. O nome foi dado devido o material apresentar uma cor e consistência que o fizeram remeter as rochas de uma ilha britânica chamada Portland (ABCP, 2023).

O cimento mais utilizado na construção civil, é o cimento Portland, que segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), é um material inorgânico com baixa granulometria, composto de clínquer, sendo um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, e que quando misturado com água forma uma pasta. Em virtude das reações e processos de hidratação endurece e mantém sua resistência e estabilidade, e mesmo que submetido novamente à ação da água, não consegue mais ser modificado. O clínquer é o principal componente do cimento, tendo como matéria prima o calcário e a argila (ABCP, 2023).

Inicialmente no Brasil, existia praticamente um único tipo de cimento Portland. Hoje o mercado nacional dispõe de 8 tipos, que são diferenciados de acordo com a adição de outros materiais, com o propósito de atender diferentes finalidades. Portanto, as distintas composições do material impactam nas suas características e nas propriedades de resistência (ABCP, 2023).

A ABPC (2023), apresenta os tipos de cimento Portland:

- Cimento Portland Comum (CP I)
  - CP I (Cimento Portland Comum);
  - CP I-S (Cimento Portland Comum com Adição);
- Cimento Portland Composto (CP II)
  - CP II-E (Cimento Portland Composto com Escória);
  - CP II-Z (Cimento Portland Composto com Pozolana);
  - CP II-F (Cimento Portland Composto com Fíler);
- Cimento Portland de Alto-Forno (CP III);
- Cimento Portland Pozolânico (CP IV);
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI);
- Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS);
- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC);
- Cimento Portland Branco (CPB).

O cimento Portland comum (CP I) é o tipo mais básico de cimento utilizado na construção civil. Ele é composto principalmente por clínquer, gesso e adições minerais. O CP I é amplamente utilizado para a produção de concreto e argamassa, oferecendo resistência mecânica e durabilidade às estruturas (ABCP, 2023).

O Cimento Portland Composto (CP II) é um tipo de cimento que contém adições como escória, pozolana ou fíler calcário. Essas adições conferem ao cimento propriedades como maior resistência à sulfatação, melhoria na durabilidade, resistência química e redução na permeabilidade (ABCP, 2023).

O Cimento Portland Composto (CP II- E, CP II-Z e CP II-F) tem adições de escória, pozolana e fíler, respectivamente, mas em proporções um pouco maiores que no CP I e no CP I-S (ABCP, 2023).

O Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) possuem proporções maiores de adições: escória, de 35% a 75% (CP III), e pozolana, de 15% a 50% (CP IV) (ABCP, 2023).

#### 2.1.1.1 Consumo de cimento

Para Neville e Brooks (2013), ao dosar um concreto, é apropriado ter como objetivo um consumo moderado de cimento, visto que é o material mais caro entre

os componentes do concreto. O consumo moderado traz vantagens ao concreto endurecido, uma vez que o alto consumo pode trazer como consequência a fissuração no decorrente da retração térmica e química, já que um maior consumo de cimento nem sempre está relacionado com uma maior resistência do concreto (Neville e Brooks, 2013).

O consumo de cimento em concretos convencionais varia em torno de 200 a 400 kg/m<sup>3</sup>, já em concretos de alto desempenho (CAD), pode variar de 400 a 550 kg/m<sup>3</sup>, porém, a quantidade de cimento deve ser analisada com cautela (TIBONI, 2007). De acordo com Neville (1997), teores acima de 530 kg/m<sup>3</sup> podem ocasionar uma perda de resistência mecânica, visto que a pasta e o agregado perdem a aderência entre si, resultando em fissuras por retração. A fim de solucionar este problema, é possível substituir parcialmente o cimento por outros materiais cimentícios ou aumentar a eficiência do cimento com adição de superplastificantes (NEVILLE, 1997). Rodrigues (2011) apontou que o consumo de cimento é calculado com base no consumo de água e na relação água e cimento (a/c) pela Equação 1.

$$C = \frac{C_a}{a/c} \quad (1)$$

Sendo:

C – Consumo de cimento

Ca- Consumo de água

a/c – Relação água e cimento

### **2.1.2 Agregados**

Segundo a NBR 9935:2011, agregado é um material granular, geralmente inerte, sem forma e volume definido, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto. Existem diversos tipos de agregados, podendo ser natural, artificial ou reciclado de diferentes origens (ABNT,2011).

Pouco se fala sobre a influência do agregado na resistência do concreto, pode se dizer que geralmente a resistência do agregado não é um fator determinante e é raramente considerada, devido ao fato que as partículas dos agregados, com exceção dos agregados leves, são mais resistentes que a matriz e a zona de transição. Contudo, existem outras características do agregado, como tamanho,

forma, textura da superfície, granulometria e mineralogia que influenciam na resistência do concreto por estarem diretamente ligados ao fator água/cimento e nas características da zona de transição (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O diâmetro máximo do agregado é outro fator que devemos nos preocupar, para uma mistura com uma distribuição granulométrica bem graduada, mesmo consumo de cimento e consistência, misturas contendo agregados maiores requerem uma quantidade maior de água de amassamento em relação aos agregados menores. Contudo, agregados maiores formam zonas de transição mais frágeis e aumentam a possibilidade de microfissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A NBR 7211 (ABNT, 2019) classifica os agregados em miúdo e graúdo, de acordo com o tamanho dos grãos:

- Agregado miúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 µm.
- Agregado graúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm.

De acordo com ABCP (1995) o agregado miúdo possui grande influência sobre a plasticidade do concreto, isso se deve ao fato da sua característica possuir uma elevada área específica. A alteração da composição do concreto, pode refletir diretamente no consumo de água da mistura, e conseqüentemente, no cimento, visto que areias mais finas necessitam de maior quantidade de água por conta de sua maior área específica. Por outro lado, o consumo de areia será menor.

### **2.1.3 Água**

A água é um importante componente do concreto e possui essencialmente duas funções: provocar a reação de hidratação dos compostos do cimento, com seu conseqüente endurecimento, e aumentar a trabalhabilidade para que possa preencher adequadamente as formas, sem causar vazios ou nichos (ABCP, 2002).

De acordo com Neville, 2016:

A água, além de atuar na trabalhabilidade e na resistência, exerce importante influência nos seguintes aspectos: pega, hidratação, exsudação, retração por secagem, fluência, ingresso de sais, ruptura brusca de concretos de relação água/cimento muito baixa, colmatação autógena, manchamento superficial, ataque químico ao concreto, corrosão de armaduras, gelo e degelo,

carbonatação, reação álcali-agregado, propriedades térmicas, resistividade térmica, cavitação e erosão (NEVILLE, 2016, p. 190).

A NBR 15900-1 (2009) especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo de concreto e descreve os procedimentos de amostragem, porém, de forma geral, a água de abastecimento público é considerada adequada para uso em concreto. Segundo Neville (2016) é recomendado para a elaboração de misturas com o cimento Portland, a utilização de água potável. Não é aconselhado a utilização de águas contaminadas ou com excesso de sais solúveis.

Visto que a reação de hidratação é fundamental para garantir as propriedades do concreto endurecido, temos que a água é de extrema importância para que isso ocorra também, uma vez que, a reação química ocorre na presença de água. Isso significa que se não houver água suficiente durante a reação, ela não acontecerá, prejudicando a qualidade do concreto, ao mesmo tempo, se houver excesso de água, pode ocorrer retração do concreto e gerar fissuras.

#### **2.1.4 Aditivos químicos**

Segundo Yázigi (2014) aditivos são produtos que podem ser adicionados em quantidade dosada no concreto de cimento Portland e/ou argamassas que tem como objetivo modificar as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, para melhor atender a condições específicas.

Para Neville (2016), além dos benefícios já citados, os aditivos podem proporcionar vantagem econômica, contudo, devem ser usados em pequenas proporções, sendo admitido no máximo 5%, em relação à massa de cimento. Além disso, deve-se verificar a confiabilidade dos aditivos, e usá-los de acordo com a recomendação do fabricante.

De acordo com Yázigi (2014), sua classificação é dada pelo efeito do aditivo sobre o concreto, sendo eles:

- modificadores de tempo de pega e endurecimento:
  - retardador;
  - acelerador;

- plastificante, destinado a melhorar a trabalhabilidade do concreto;
- impermeabilizante;
- expensor;
- adesivo.

### **2.1.5 Adições**

O concreto é um material de construção amplamente utilizado devido à sua durabilidade, resistência e versatilidade. Além dos principais componentes - cimento, areia, brita e água - podem ser adicionados diversos materiais para melhorar suas propriedades e desempenho em diferentes aplicações (ABCP, 2002).

De acordo com a ABCP (2002), as adições são materiais extremamente finos que quando utilizados tem finalidade de se atingir características específicas. O uso de ações podem diminuir o volume de vazios, tornando o concreto menos poroso, reduzir a permeabilidade e, por consequência, melhorar a resistência mecânica. As adições minerais podem ser classificadas em 3 grupos: material pozolânico, materiais cimentantes e fíler (Dal Molin, 2011).

As adições podem ser utilizadas somando ou substituindo parcialmente o cimento, dadas as suas propriedades semelhantes e, normalmente, adiciona-se um teor maior ou igual a 5% em relação ao peso do cimento, tendo como principal objetivo melhorar o desempenho do concreto (ABCP, 2002).

#### **2.1.5.1 Material pozolânico**

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2015), materiais pozolânicos são materiais silicosos ou sílico aluminosos, que apresentam uma atividade aglomerante praticamente inexistente, mas que quando moídos, na presença de água e em temperatura ambiente reagem com o hidróxido de cálcio e formam compostos com propriedades aglomerantes que melhoram as propriedades do concreto.

A adição de materiais pozolânicos no concreto pode trazer diversos benefícios, como melhorias na resistência à compressão, resistência química, durabilidade, redução da permeabilidade e maior coesão. Eles também podem

contribuir para a redução do calor de hidratação e a retração do concreto. (MEHTA; MONTEIRO, 2008)

## 2.2 CERÂMICA VERMELHA

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM), entende-se como cerâmica “aqueles materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno” (ABCERAM, 2022). As cerâmicas vermelhas são produzidas a partir de argilas ou siltes argilosos, de granulação fina, que normalmente são retiradas de rios e barragens, e são submetidas a um processo de secagem e queima em elevadas temperaturas (Isaia, 2010). Sua cor avermelhada se dá pelo fato da sua composição possuir uma alta quantidade de óxido de ferro (SEBRAE, 2015).

Tendo em vista o crescimento da construção civil nos últimos anos, o setor é um dos que mais gera resíduo no mundo, conseqüentemente é um dos setores que mais gera impactos ambientais. No Brasil cerca de 90% das edificações utilizam blocos cerâmicos, com isso, os resíduos cerâmicos estão entre os mais produzidos em todo o mundo, fazendo com que a reutilização destes resíduos se torne uma atividade imprescindível, buscando minimizar os impactos no ponto de vista ambiental e econômico (ALMEIDA; TAMASHIRO, 2020).

Pesquisas experimentais apontam que a substituição parcial do cimento ou dos agregados por cerâmica vermelha podem trazer grandes benefícios às propriedades do concreto ou da argamassa. Segundo Botosso *et al.* (2019), a substituição de 30% do agregado miúdo por resíduo de cerâmica vermelha impactou em um aumento de 44% da resistência à compressão e em 28% da resistência à tração em relação ao concreto referência. Já Mohit e Sharifi (2019), mostraram que a substituição parcial do cimento por resíduo de cerâmica vermelha aumentou em até 10% da resistência mecânica à compressão.

## 2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

### 2.3.1 Trabalhabilidade

De acordo com a ABCP (2002), a trabalhabilidade é a propriedade mais importante do concreto no estado fresco. Todos os concretos requerem uma certa trabalhabilidade, adequada a cada situação específica, os concretos devem ser coesos e viscosos, pois devem permitir ser transportados adequadamente até sua posição final sem apresentar segregação. Já Neville (2016), define a trabalhabilidade como a quantidade necessária de trabalho útil para obter o adensamento total.

A escolha do teor de água do concreto fresco adequado para o processo de preparo é de grande importância para o sucesso da operação. Se uma mistura muito seca for usada, o resultado é uma compactação inadequada e superfícies externas mal acabadas, podendo resultar em espaços vazios no estado endurecido, prejudicando sua resistência. Por outro lado, uma mistura muito úmida pode levar à segregação e uma qualidade inferior (ABCP, 2002).

Neville (2016) afirma que partículas mais finas demandam uma quantidade de água maior, bem como um agregado com formato irregular e textura rugosa.

No quadro 1, Petrucci (1998) mostra os fatores internos e externos que podem afetar a trabalhabilidade do concreto.

Quadro 1 - Fatores que influenciam a trabalhabilidade

<b>Fatores internos</b>	<b>Fatores externos</b>
Consistência, a qual está ligada ao fator água/cimento.	O tipo de mistura, manual ou mecanizada.
O traço do concreto, em relação a proporção entre o agregado e o cimento.	Tipo de transporte, lançamento e adensamento.
A proporção da granulometria do concreto, relação entre agregado miúdo e graúdo.	Tamanho e armadura da peça a ser concretada.
Forma e tamanho dos grãos dos agregados.	
Uso ou não de aditivos.	

Fonte: Petrucci (1998)

A consistência do concreto pode ser obtida a partir do *slump test*, no português conhecido como abatimento de tronco de cone, sendo esse ensaio normatizado pela NBR 16889 (ABNT, 2020).

### **2.3.2 Resistência**

Para Mehta e Monteiro (2008), a resistência mecânica do concreto é a propriedade mais valorizada pelos projetistas e engenheiros, sendo definida como a capacidade para resistir à tensão sem se romper. Segundo os mesmos autores, na maioria dos casos, a ruptura é identificada a partir do surgimento de fissuras, porém, no concreto, as investigações microestruturais mostram que este apresenta pequenas fissuras mesmo antes de serem submetidos a tensões, por conta disso, a resistência do concreto está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, ou seja, a tensão máxima.

Para que o concreto atinja a resistência de projeto, é preciso que haja um rigoroso controle de qualidade na produção e aplicação, visto que há variáveis que influenciam a resistência do concreto no estado endurecido, como a relação água/cimento, consumo de cimento, mineralogia, dimensão e qualidade dos agregados, adições, condições de umidade, e, além da forma como ele é produzido, o transporte, lançamento e o adensamento e condições de cura, que trata da hidratação do cimento, influenciam a qualidade final do produto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Dessa forma, as características desejáveis de engenharia no concreto endurecido são a resistência, estabilidade dimensional e a durabilidade, que são influenciadas, não apenas pela proporção, mas também pelas propriedades da pasta de cimento hidratada, que por sua vez, dependem das características microestruturais (quantidade e distribuição de sólidos e vazios) (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

### **2.3.3 Porosidade**

A porosidade desempenha um papel fundamental na avaliação global da qualidade do concreto, afetando diretamente tanto sua resistência mecânica quanto sua durabilidade (RECENA, 2014).

A presença de vazios, representados pelos poros, reduz a resistência do concreto. Segundo Neville (1997), a resistência pode diminuir em 30% com 5% de vazios e em 10% com 2% de vazios.

Recena (2014) destaca três estruturas distintas que contribuem para a constituição da porosidade:

- Porosidade capilar: refere-se aos poros com diâmetros maiores, permitindo o fluxo hidráulico em ambas as direções (entrada e saída) sem alterar o volume, sendo que esses poros possuem dimensões consideráveis.
- Porosidade gel: representa a água suscetível à evaporação e pode ocupar até 20% do volume da pasta de cimento. São canais de diâmetros menores que causam variações significativas no volume do concreto.
- Porosidade de ar: consiste em poros resultantes da presença de pequenas bolhas de ar, interrompendo os canais capilares. A inclusão de ar no concreto resulta em menor permeabilidade, mas também compromete sua resistência mecânica.

Dessa forma, é possível compreender que a porosidade tem um impacto significativo nas propriedades do concreto, afetando sua resistência e durabilidade. O controle e a redução adequados da porosidade são essenciais para garantir um concreto de alta qualidade.

## 2.4 CURA DO CONCRETO

Cura é o nome dado aos procedimentos utilizados para promover a hidratação do cimento, sendo um processo essencial para garantir seu desenvolvimento adequado de resistência e durabilidade. Consiste em manter as condições favoráveis de umidade e temperatura durante o período inicial de endurecimento do concreto, permitindo que a hidratação do cimento ocorra de maneira eficiente. A cura visa prevenir a evaporação excessiva de água, proteger o concreto contra condições ambientais adversas, reduzir a retração e minimizar a formação de fissuras (NEVILLE, 2013).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), em condições normais de temperatura, certos componentes presentes no cimento começam a passar pelo processo de hidratação imediatamente após a adição de água. No entanto, à medida

que os produtos da hidratação envolvem os grãos de cimento, as reações de hidratação diminuem consideravelmente. Isso ocorre porque a hidratação do cimento só pode ocorrer de maneira satisfatória quando há condições de saturação, ou seja, quando há presença adequada de água disponível. Portanto, o tempo e a umidade são fatores cruciais no processo de hidratação, que é controlado pela difusão da água.

Existem diferentes métodos de cura do concreto, sendo os mais comuns (TECNOSIL, 2018):

- Cura úmida: Envolve a aplicação de água sobre a superfície do concreto para manter uma umidade constante. Pode ser feita por meio de pulverização, imersão em água ou uso de membranas úmidas.
- Cura química: Envolve o uso de compostos químicos, como compostos de cura de membrana, que são aplicados na superfície do concreto para formar uma barreira que evita a evaporação da água.
- Cura por térmica: Consiste em submeter a peça de concreto a altas temperaturas de forma programada. É comumente utilizado em situações em que é necessário um rápido desenvolvimento de resistência.

A correta hidratação do concreto desempenha um papel fundamental na prevenção de fissuras de retração e trincas nas estruturas de uma obra. Isso ocorre porque a hidratação adequada impede que a estrutura perca água rapidamente para o ambiente. Outro benefício importante da cura adequada é a proteção contra ataques de agentes externos, o que aumenta a durabilidade da estrutura. O concreto se torna mais impermeável, proporcionando uma vida útil mais longa para a estrutura como um todo (TECNOSIL, 2018).

## 2.5. CONCRETO DE REFERÊNCIA

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 11768: 1983, concreto de referência é um concreto com composição e propriedades conhecidas, destinado a comprovar o desempenho de uma determinada adição.

### **3. METODOLOGIA**

Este trabalho trata-se de uma pesquisa experimental, investigando a influência da substituição parcial do cimento por cerâmica vermelha, proveniente de resíduos de construção e demolição, ao concreto, de modo a estabelecer as características e propriedades mecânicas do conjunto.

Uma pesquisa experimental é aquela que “se caracteriza por manipular diretamente as variáveis relacionadas ao objeto de estudo. Nesse tipo de pesquisa, a manipulação das variáveis proporciona o estudo em relação entre as causas e efeitos de determinado fenômeno.” (CERVO; BERVIAN; DA SILVA, 2007, p. 63).

No presente capítulo serão descritas as etapas experimentais realizadas para a obtenção dos resultados finais bem como a exposição dos tipos de materiais utilizados, juntamente com sua caracterização e origem.

#### **3.1 MATERIAIS**

Para a elaboração do projeto experimental foi necessário definir o tipo de materiais que irão compor o concreto, visto isso, é preciso fazer a escolha do cimento, do agregado graúdo e miúdo, bem como a seleção da cerâmica vermelha para estudo, sendo que a forma como foram obtidos estão descritos no decorrer do trabalho.

##### **3.1.1 Agregados**

Os agregados utilizados foram adquiridos no material de construção da região, localizado na cidade de Joinville. Foram utilizados os seguintes agregados: areia média como agregado miúdo, e brita 0 como agregado graúdo.

##### **3.1.2 Cimento**

O cimento escolhido e utilizado neste trabalho foi o CP IV - 32, do fabricante Votorantim, cujas características mecânicas, físicas e químicas são fornecidas pelo fabricante e podem ser visualizadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Propriedades do cimento CP IV - 32

Tipo	CP IV
Classe	32
Tempo de início de pega	$\geq 1$
Tempo de fim de pega (h:min)	$\leq 12$
Expansibilidade a quente (mm)	$\leq 5,0$
Resistência à compressão em 28 dias (MPa)	$\geq 32$

Fonte: Adaptado de Cimento.org (2010)

### 3.1.3 Água

A água utilizada para a composição da mistura do concreto foi oriunda da rede de abastecimento de Joinville – SC. Sendo classificada como potável e livre de impurezas.

### 3.1.4 Resíduo de cerâmica vermelha

No presente trabalho utilizou-se resíduo de cerâmica vermelha, em forma de pó, proveniente de tijolos fornecidos por uma obra localizada na cidade de Joinville-SC, conforme observa-se na Figura 1.

Figura 1 - Resíduo de cerâmica vermelha coletado em obra

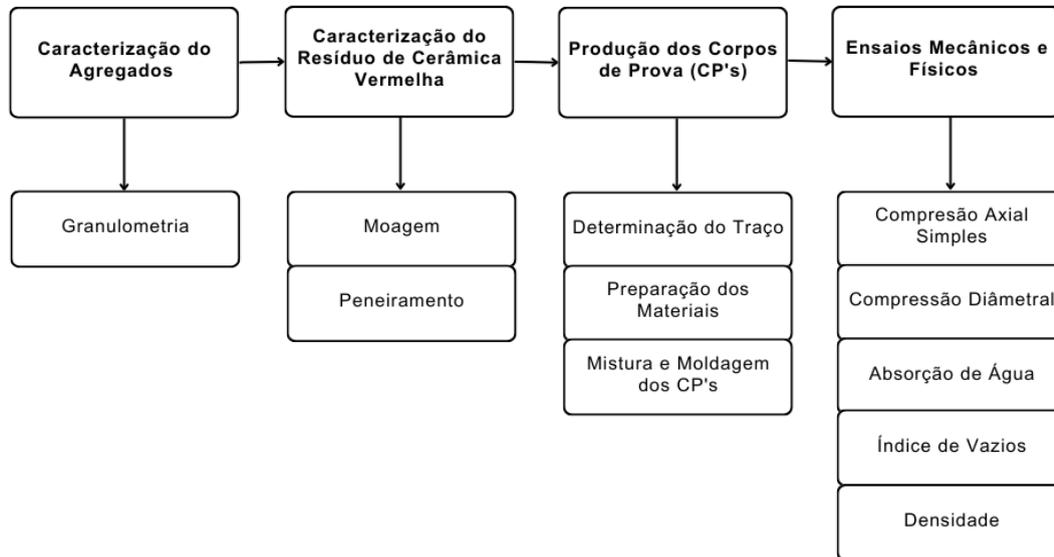


Fonte: Autora (2023)

### 3.2 MÉTODOS

A partir da definição dos materiais deu-se sequência aos procedimentos e ensaios necessários para a caracterização dos materiais. Com base no fluxograma apresentado abaixo (Figura 2), é possível visualizar o processo como um todo, onde a metodologia foi dividida em quatro grupos.

Figura 2 - Metodologia do trabalho



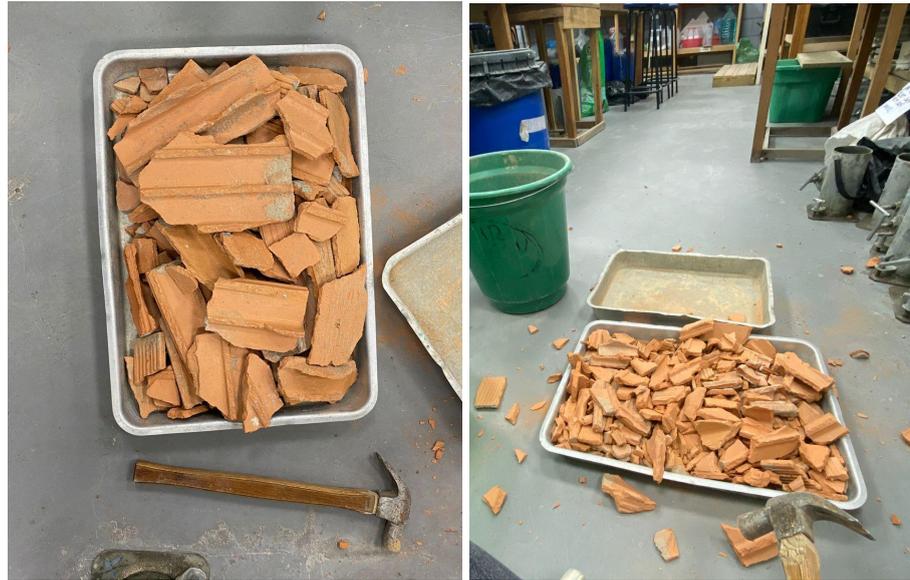
Fonte: Autora (2023)

### 3.2.1 Caracterização do resíduo de cerâmica vermelha

Para que o resíduo de cerâmica vermelha chegasse na finura desejada, o resíduo passou por um processo de moagem, sendo selecionadas as partículas passantes na peneira de malha de 300  $\mu\text{m}$ .

Inicialmente o material foi colocado em formas e passou por um processo de moagem manual por meio de um martelo, com a finalidade de fragmentar e facilitar o manuseio, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Resíduo moído manualmente



Fonte: Autora (2023)

Posteriormente as formas com o material foram levadas para a estufa, onde permaneceram por um período de 24 horas a uma temperatura de aproximadamente 100°C para que toda a umidade do material fosse eliminada. Sendo assim, após esse período, o material foi retirado da estufa e deixado à temperatura ambiente.

Para realizar a moagem dos tijolos e chegar na granulometria similar ao do cimento, foi utilizado um Moinho de Bolas, modelo CT-242, fabricado pela SERVITECH, disponibilizado pelo Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

O moinho de bolas (Figura 4) consiste em um equipamento que rotaciona a 400 RPM. O procedimento resume-se em colocar o material dentro de jarros de cerâmica de alta resistência à abrasão, com uma capa de alumínio que os reveste, junto com esferas de alumina de variados diâmetros. Esses jarros possuem uma capacidade de 1000ml e são colocados no moinho de bolas, que o fazem rotacionar em uma rotação de 400 RPM. As esferas de alumina moem por fricção, e para conseguir um melhor rendimento de moagem, deve-se selecionar diferentes diâmetros de esferas (BRISTOT, 1996).

Figura 4 - Moinho de bolas SERVITECH



Fonte: Autora (2023)

Sendo assim, por conta da baixa capacidade do jarro, foram separadas pequenas porções de tijolos e colocadas no interior do jarro juntamente com as esferas, e iniciado o processo de moagem. Cada porção ficou cerca de 10 minutos para chegar até a granulometria desejada, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Jarro e esferas de alumina



Fonte: Autora (2023)

O processo repetiu-se inúmeras vezes, até a obtenção de aproximadamente 4,5kg de resíduo cerâmico peneirado na malha de 300  $\mu\text{m}$ .

### 3.2.2 Caracterização dos agregados

Para a caracterização dos agregados foi realizado o ensaio de granulometria a partir das recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003). O quadro 2 mostra a série de peneiras estabelecidas pela norma. O ensaio consiste em determinar a distribuição das dimensões do agregado (NEVILLE, 2013).

Quadro 2 - Série de peneiras

<i>Serie Normal / Série Normal</i>	<i>Serie Intermedia / Série Intermediária</i>
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 $\mu\text{m}$	-
300 $\mu\text{m}$	-
150 $\mu\text{m}$	-

Fonte: NBR NM 248 (ABNT, 2003)

Inicialmente o material foi levado para estufa e deixado por um período de 24 horas a uma temperatura de aproximadamente 100°C, até estarem totalmente secas e livres de qualquer umidade. O resfriamento ocorreu à temperatura ambiente.

Para a execução do ensaio, foram separadas amostras de 1000g de cada agregado e colocadas nas peneiras. Para o agregado graúdo as peneiras foram dispostas na ordem de 19mm; 12,5mm; 9,5mm; 6,3mm; 4,75mm, 2,36mm; 1,18mm, 0,6mm, e para o ensaio de agregado miúdo foram dispostas na ordem 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm, 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm, 0,075mm formando um único conjunto com tampa e fundo, conforme a figura 6.

Após inserir as amostras de agregado nas peneiras, o conjunto é colocado sobre uma plataforma vibratória durante 5 minutos para garantir a eficiência do peneiramento.

Figura 6 - Conjunto de peneiras para determinação de distribuição granulométrica



Fonte: Autora (2023)

Sendo assim, a partir da NBR NM 248 (ABNT, 2003) determinou-se a porcentagem de material retido e acumulado nas peneiras de série normal e intermediária por meio de pesagem em uma balança. A partir destes dados foi possível determinar o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado. O módulo de finura é definido a partir da soma das porcentagens de material retido acumulado nas peneiras de série normal, dividido por 100. Já a dimensão máxima do agregado é definida como a abertura de peneira na qual ficou retido 5% dos agregados, ou uma porcentagem ligeiramente inferior.

### 3.2.3. Dosagem de concreto e execução

De acordo com a ABCP (1995) a dosagem do concreto nada mais é que processo para determinação da proporção adequada dos materiais, cimento, água, agregados, e se necessário, aditivos, de forma que atenda aos requisitos de trabalhabilidade, resistência, durabilidade, entre outros.

Neste trabalho, a definição da dosagem foi feita a partir de um estudo elaborado por Carls (2017) a fim de comparar os resultados obtidos e estudar os impactos utilizando o mesmo traço inicial, porém com um cimento diferente. O traço referência considerado foi, 1:1,565:2,422:0,47 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: relação água/cimento), sendo utilizado o cimento CP II-32.

Dessa forma, a porcentagem de substituição do cimento por resíduo de cerâmica vermelha no traço foi mantida em 0%, 15% e 25%, conforme estudo original elaborado por Carls (2017), porém agora sendo utilizado o cimento CP IV 32-F. Dessa forma, calculou-se a quantidade de material necessário para preencher 8 corpos de prova para cada traço, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de material necessários para moldagem de cada traço (em kg)

Traço	Cimento	RCV	Brita	Areia	Água
REF	6,81	-	10,66	16,51	3,20
15 % RCV	5,7885	1,0215	10,66	16,51	3,20
25 % RCV	5,1075	1,7025	10,66	16,51	3,20

Fonte: Autora (2023)

A partir dessas quantidades, todos os materiais foram pesados e separados em recipientes nas quantidades exatas. Posto isso, iniciou-se a mistura dos materiais na betoneira na seguinte ordem: brita, 80% da água, cimento, areia e o restante da água, até que formasse uma massa homogênea. Logo após a mistura realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*) a fim de verificar sua consistência e trabalhabilidade. Contudo, notou-se que a massa estava pouco coesa e pouco fluida, resultando em um *slump* de quase 0, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - *Slump test* do traço referência.



Fonte: Autora (2023)

Para a realização do *slump test*, todos os procedimentos foram seguidos de acordo com a norma ABNT NBR 16889 (ABNT, 2020).

Inicialmente, colocou-se a placa de base sobre uma superfície plana e o molde foi umedecido e posicionado sobre a base. Após o posicionamento, o molde foi preenchido com concreto em 3 camadas, sendo cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde. Com o auxílio de uma haste de adensamento, cada camada foi adensada com 25 golpes. Com o preenchimento total do molde e com o auxílio de uma colher de pedreiro, foi realizado o arrasamento da superfície.

Então, cuidadosamente, levantou-se o molde na direção vertical, com um movimento rápido e constante. A partir desse procedimento, foi possível verificar qual foi o resultado do *slump test*, determinado pela diferença de altura do molde e altura do concreto desmoldado.

Sendo assim, para manter uma boa trabalhabilidade dos demais traços, a relação água/cimento foi ajustada durante o procedimento a fim de se obter um resultado de *slump* de  $90 \pm 10$ mm, definido como padrão para todos os traços.

Portanto, com a relação água/cimento ajustado, a Tabela 2 apresenta o resultado final dos 3 traços utilizados neste trabalho.

Tabela 2 - Composição dos traços do concreto

Traço	Cimento	RCV	Brita	Areia	A/C
REF	1	-	1,565	2,422	0,470
T0	1	-	1,565	2,422	0,617
T15	1	0,176	1,565	2,422	0,646
T25	1	0,333	1,565	2,422	0,76

Fonte: Autora (2023)

Figura 8 - Slump test dos três traços realizados



Fonte: Autora (2023)

### 3.2.4 Execução dos corpos-de-prova (CP's)

O processo de moldagem dos corpos de prova (CP's) foi realizado com base na ABNT NBR 5738 (2016), utilizando os moldes de dimensão de 10cm de diâmetro e 20cm de altura. Para cada traço foram moldados 8 corpos de prova, totalizando 24 CP's.

Antes do procedimento de moldagem, os moldes foram lubrificados internamente com uma fina camada de óleo, a fim de facilitar o processo de desmoldagem.

Seguindo a recomendação da norma, o preenchimento foi feito em duas camadas com 12 golpes cada, tomando cuidado para que a camada inferior não fosse atingida. Com o preenchimento completo, foi necessário realizar o rasamento da superfície dos corpos-de-prova com o auxílio de uma colher de pedreiro.

Figura 9 - Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autora (2023).

Após a moldagem, os mesmos foram armazenados e mantidos por cerca de 24 horas para a obtenção da cura inicial. Passado esse período, os CP's foram desmoldados e identificados conforme a porcentagem de RCV na sua composição, sendo realizados os ensaios no estado endurecido aos 28 dias.

A NBR5738 (ABNT, 2015) especifica que após desmoldar e identificar os corpos de prova, os mesmos devem ser armazenados em uma solução saturada de hidróxido de cálcio a uma temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , entretanto, com a finalidade de avaliar a importância da cura úmida neste trabalho, os corpos de prova foram armazenados em temperatura ambiente.

Figura 10 - Corpos de prova desmoldados



Fonte: Autora (2023).

### 3.2.5 Massa específica do concreto fresco

A massa específica do concreto fresco foi definida seguindo as especificações da NBR 9833 (ABNT, 2008). Anteriormente à moldagem dos corpos de prova, o concreto foi colocado manualmente em três camadas em um recipiente de volume conhecido e adensado com 25 golpes a cada camada com a haste de adensamento. Com isso, o recipiente com o concreto foi pesado, conforme mostra a Figura 11, e sua massa específica pôde ser obtida a partir da Equação 2.

$$p_{ap} = \frac{m}{V} \cdot 1000 \quad (2)$$

sendo:

$p_{ap}$  - Massa específica aparente do concreto, em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  - Massa do concreto, determinada em quilograma (kg)

$V$  - Volume do recipiente, em decímetros cúbicos (dm<sup>3</sup>)

Figura 11 - Massa específica do concreto fresco



Fonte: Autora (2023)

### 3.2.6 Ensaio de compressão axial simples

O ensaio de compressão axial simples nos fornece a resistência à compressão do concreto, conhecida como  $f_{ck}$ , que em inglês significa *Feature Compression Know*, e em português significa resistência característica do concreto à compressão. A resistência é medida em MegaPascal (MPa), e cada 1 MPa corresponde a uma resistência aproximada de 10 kgf/cm<sup>2</sup>. Portanto, o  $f_{ck}$  indica a qual tensão o concreto tem capacidade de resistir. Dessa forma, os testes de resistência no concreto permitem conhecer a tensão máxima a que ele resistirá antes de sofrer ruptura (Schneider , 2020).

Os ensaios de compressão axial nos cilindros foram executados conforme rege a NBR 5739 (ABNT, 2018), usando uma máquina de ensaios da marca SOLOTEST. Foram rompidos 4 corpos de prova para cada traço na idade de 28 dias.

De acordo com as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018), os corpos de prova foram retificados. A retificação tem a finalidade de deixar as superfícies

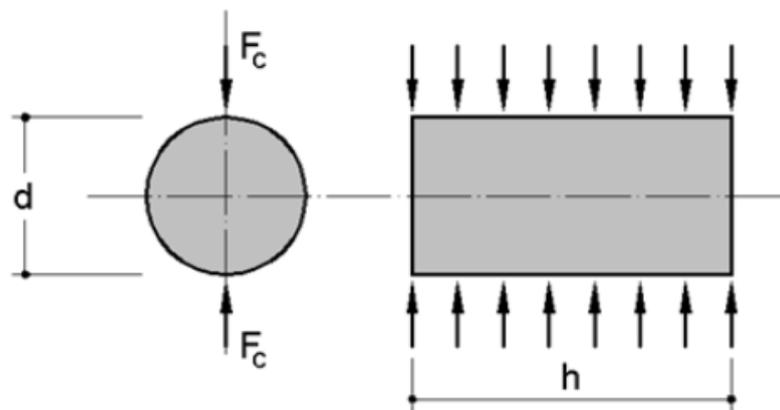
planas para que se garanta a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida (ABNT, 2018).

### 3.2.7 Determinação da resistência à tração por compressão diametral

O ensaio por compressão diametral, mais conhecido internacionalmente por Ensaio Brasileiro, foi desenvolvido por Lobo Carneiro, e tem como a principal finalidade medir a resistência à tração do concreto. Neste ensaio, o corpo de prova é colocado horizontalmente entre os pratos da prensa, sendo aplicada uma força até sua ruptura, conforme mostra a Figura 12 (Santos, 2004).

Esse parâmetro é uma das mais importantes propriedades do concreto, pois possibilita estimar a carga em que o concreto começa a fissurar, além de servir como parâmetro para verificar a aderência entre o concreto e a armadura (Santos, 2004)

Figura 12 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Santos (2004)

Neste trabalho, a resistência à tração foi determinada experimentalmente através do ensaio de tração por compressão diametral, seguindo as determinações da norma NBR 7222 (ABNT, 2011). Para este ensaio, foram utilizados 4 corpos de prova para cada traço, totalizando 12 CP's.

### 3.3.8. Índices físicos: absorção de água, índice de vazios e densidade aparente

Para obter as propriedades físicas de um concreto como a porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente, foi necessário seguir as especificações da NBR 9778 (ABNT, 2009) para a realização do ensaio de Arquimedes. A partir dos corpos de prova rompidos, foram retiradas amostras, fragmentos retirados dos corpos de prova sujeitos a compressão, e então pesados nos estados: seco, saturado com a superfície seca e submerso. A partir destas pesagens foi possível determinar os índices físicos do concreto no estado endurecido.

As equações necessárias para o cálculo das propriedades do concreto endurecido como absorção de água, índice de vazios e densidade aparente, são obtidas através das equações a seguir, respectivamente.

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (4)$$

$$\rho_a = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \times 1000 \quad (5)$$

Onde:

- A= absorção de água (%);
- $I_v$  = índice de vazios ou porosidade aberta (%);
- $\rho_a$  = densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>);
- Msat= massa saturada da amostra (g);
- Ms= massa seca da amostra (g);
- Mi= massa hidrostática da amostra (g).

A norma NBR 9778 (ABNT, 2009) estabelece que a absorção da água por imersão é o processo pela qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido, já o índice de vazios, nada mais é que a relação entre o volume dos poros permeáveis e o volume total da amostra.

Para este ensaio, foi retirado uma amostra dos corpos de prova rompidos de cada traço, todas as amostras foram secas em estufas a uma temperatura de

105±5°C, até atingir uma constância de massa, ou seja, quando a diferença entre duas massas consecutivas, em um período de 24hrs de permanência no interior da estufa, não passar de 0,5% do menor valor obtido.

Após a secagem das amostras, as mesmas foram pesadas e inseridas em um recipiente com água em temperatura 23± 2°C, até atingir uma constância de massa, e então sua massa foi aferida novamente. Dessa forma, para finalizar, as amostras foram sustentadas por uma cesta e fixadas por uma balança de precisão e imersa em água para obter a massa hidrostática.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será realizada a apresentação e discussão dos resultados obtidos neste trabalho, como propriedades físicas dos agregados, propriedades mecânicas do concreto para os diferentes traços propostos e os índices físicos do concreto em estado endurecido.

### 4.1. PROPRIEDADES FÍSICAS DO AGREGADO GRAÚDO

A Tabela 3 indica a composição granulométrica obtida do agregado graúdo natural.

Tabela 3 - Análise granulométrica agregado graúdo natural

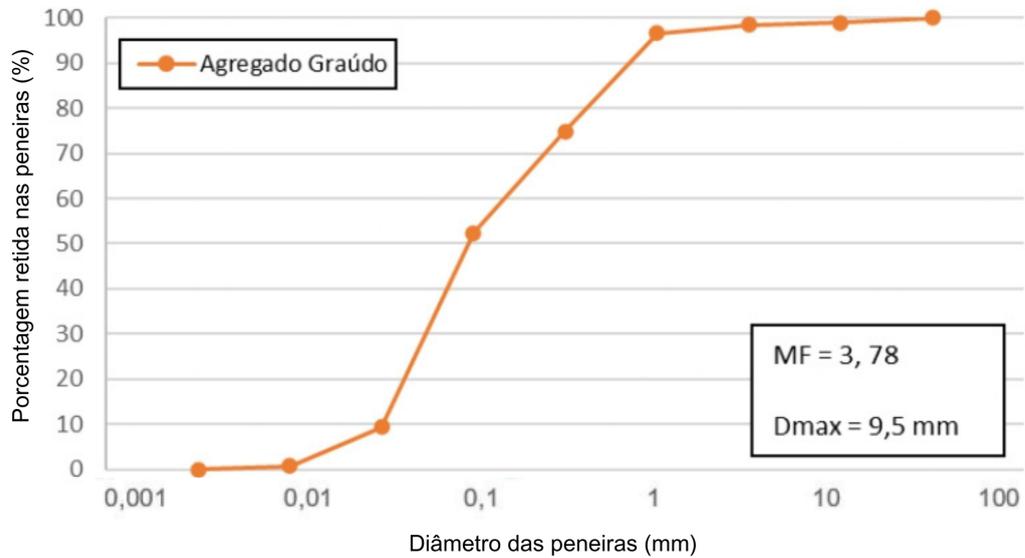
Agregado Graúdo			
Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
19	0	0,00	0,00
12,5	7,55	0,73	0,73
9,5	89,24	8,65	9,38
6,3	443,53	42,99	52,38
4,75	232,79	22,57	74,94
2,36	223,81	21,70	96,64
1,18	19,01	1,84	98,48
0,6	4,43	0,43	98,91
fundo	11,24	1,09	100,00

Fonte: Autora (2023)

A partir da Tabela 3, nota-se que a dimensão máxima do agregado é de 9,5mm. Além disso, com as porcentagens de massa retida acumulada, obteve-se um módulo de finura de 3,78, sendo assim, se enquadrando como brita 0.

Com os resultados obtidos na Tabela 3 obteve-se as curvas granulométricas do agregado graúdo, apresentadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Curva granulométrica agregado graúdo.



Fonte: Autora (2023)

#### 4.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO AGREGADO MIÚDO

A composição granulométrica da areia utilizada para a execução dos traços de concreto deu-se conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Análise granulométrica agregado miúdo

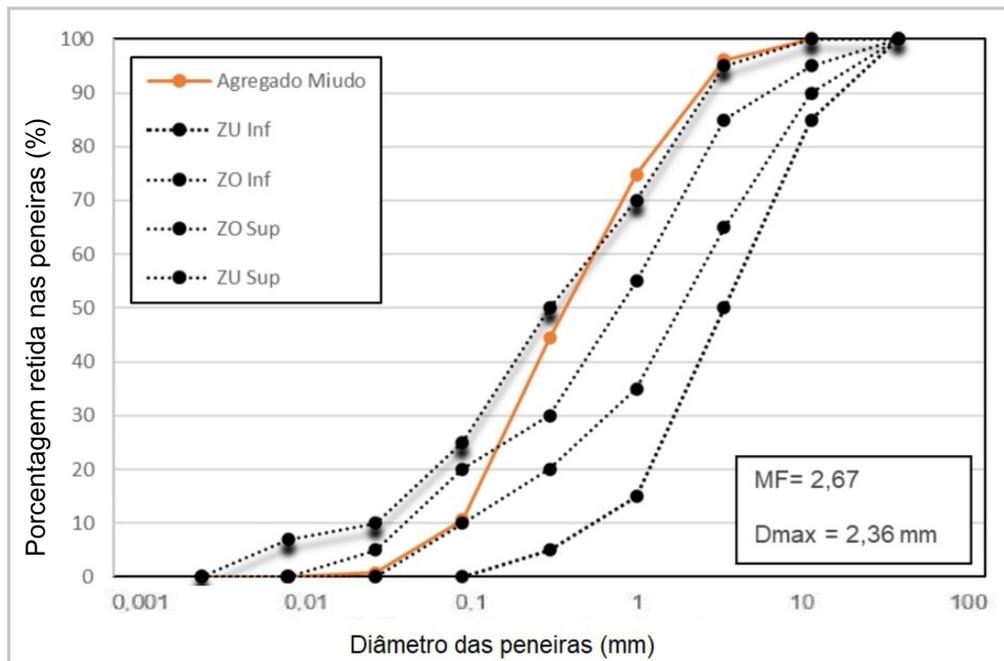
Agregado Miúdo			
Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
9,5	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00
4,75	0,00	0,00	0,00
2,36	8,02	0,80	0,80
1,18	98,51	9,81	10,61
0,6	339,68	33,82	44,43
0,3	305,46	30,42	74,85
0,15	213,33	21,24	96,09
fundo	3,95	0,39	100,00

Fonte: Autora (2023)

É possível observar uma concentração do agregado miúdo na peneira com abertura de 0,60 mm e a partir da porcentagem retida acumulada obteve-se um módulo de finura de 2,67, sendo classificada como areia média e possuindo um diâmetro máximo de 2,36mm.

A partir dos dados obtidos da Tabela 4, obteve-se a curva granulométrica da areia, apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Curva granulométrica agregado miúdo



Fonte: Autora (2023)

#### 4.3. RESULTADOS DO ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST)

Para cada traço foi necessário ajuste da relação água/cimento para que se mantivesse a mesma trabalhabilidade estabelecida como padrão em todas as situações. Quanto maior a porcentagem de RCV na mistura de concreto mais consistente era o concreto, com isso, pode-se afirmar que o RCV possui um maior teor de absorção em relação ao cimento. Com isso, após o ajuste da relação água/cimento, conseguiu-se obter o abatimento desejado de  $90 \pm 10$  mm para todos os traços.

Outro ponto a ser levado em consideração, no estudo original, elaborado por Carls (2017), a autora utiliza o cimento CP II F-32, sendo um cimento que não possui adições pozolânicas na sua composição, já no presente estudo, o cimento utilizado foi o CP IV - 32, um cimento constituído de 15% a 50% de material pozolânico, o que explica a maior necessidade de água para atingir a trabalhabilidade requerida, visto que, materiais pozolânicos são mais finos, fazendo com que absorvam uma quantidade maior de água de amassamento.

A Tabela 5 apresenta a variação da relação água/cimento em relação ao traço referência de Carls (2017).

Tabela 5 - Variação da relação a/c

Traço	a/c	Variação a/c (%)	Slump Test
REF	0,470	-	5mm
T0	0,617	31,25	89mm
T15	0,646	37,42	84mm
T25	0,760	61,67	86mm

Fonte: Autora (2023)

#### 4.4. RESULTADO MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO

A partir das recomendações da ABNT NBR 9833, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Massa específica do concreto fresco

Traço	Massa Concreto (kg)	Massa específica aparente (kg/m <sup>3</sup> )
T0	5,16	1720
T15	5,00	1666,67
T25	4,88	1626,67

Fonte: Autora (2023)

Nota-se a partir dos resultados obtidos que a massa específica é inversamente proporcional ao teor de substituição, ou seja, quanto maior a

quantidade de RCV menor é a massa específica, indicando que quanto mais resíduos na mistura mais leve é o concreto.

#### 4.5. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES

A partir do rompimento dos corpos de prova na idade de 28 dias, foram obtidos os resultados de resistência para cada um dos traços executados, sendo expostos na Tabela 6. Para cada traço foram rompidos 4 corpos de prova, obtendo-se o resultado final por meio de média aritmética.

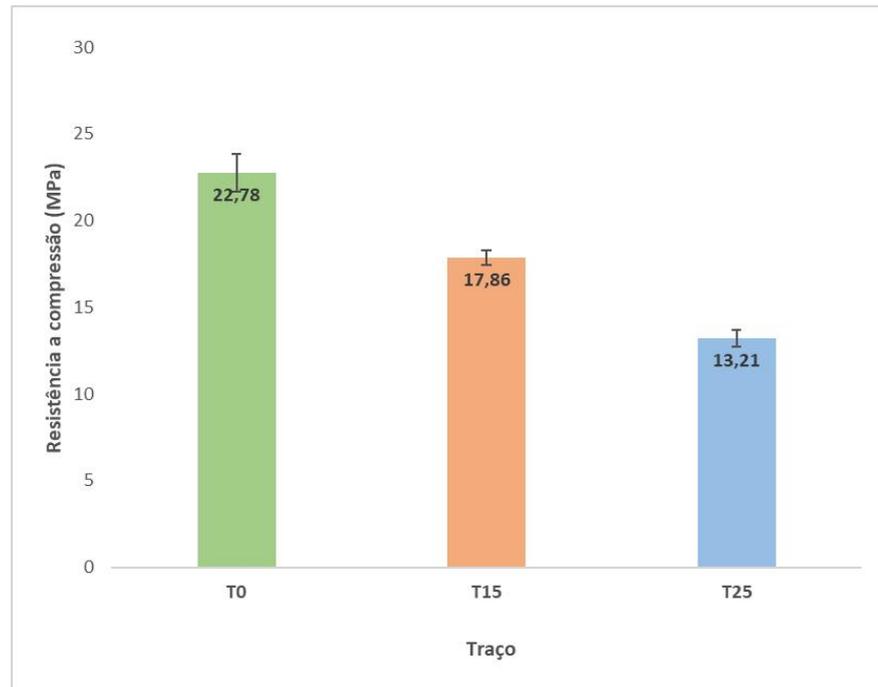
Tabela 7 - Resistência à Compressão Simples

Traço	Resistência Atingida MPa	Resistência Atingida (%)	Perda de Resistência (%)
T0	22,78	100%	-
T15	17,86	78,41%	22%
T25	13,21	58,00%	42%

Fonte: Autora (2023)

O Gráfico 3, apresenta os comparativos da resistência média de cada traço.

Gráfico 3 - Resistência à compressão simples em 28 dias (MPa)



Fonte: Autora (2023)

Analisando o Gráfico 3 e a Tabela 7, nota-se que quanto maior o teor de substituição do cimento por RCV na mistura, menor a resistência.

Uma das possíveis explicações da redução da resistência à compressão simples com o aumento do teor de substituição do cimento pelo RCV é o aumento da relação água/cimento ocasionado pela alta absorção de água da cerâmica vermelha, diminuindo a quantidade de água de hidratação da mistura. Outro fator que contribuiu para o aumento da relação a/c foi a troca do tipo de cimento, sendo originalmente um cimento sem adições pozolânicas, para um cimento com cerca de 15 a 30% de material pozolânico, que por ser um material muito fino, tende a absorver mais água, o que também interfere na hidratação da mistura. O aumento da relação a/c poderia por outro lado gerar uma quantidade maior de poros na estrutura, diminuindo sua resistência.

Inicialmente, era esperado que o RCV pudesse atuar como material pozolânico, contudo, a partir dos resultados, nota-se que a cerâmica vermelha neste estudo teve função somente de adição mineral, não podendo ser considerada como um material pozolânico ou que não apresenta um índice de pozolanicidade suficiente para contribuir com a resistência do concreto.

Por último, nota-se que em comparação aos resultados obtidos por Carls (2017), apresentados na Tabela 8, a resistência em 28 dias teve uma redução de cerca de 50%, além dos fatores citados acima, pode-se atribuir essa queda de resistência ao fato da cura úmida não ter sido realizada. De acordo com alguns estudos, a partir de ensaios, resultados mostram que concretos expostos a ambientes secos chegam a perder 50% de resistência à compressão quando comparados com aqueles que passaram pelo processo de cura (TECNOSIL, 2018). Sendo assim, fica evidente a importância do processo da cura em concretos.

Tabela 8 - Comparação dos resultados obtidos

Traço	Resultado Resistência à Compressão de Carls (2017) em 28 dias (MPa)	Resistência à Compressão do presente estudo em 28 dias (MPa)	Varição de Resistência (%)
T0	49,95	22,78	54,39
T15	37,26	17,86	52,06
T25	30,17	13,21	56,21

Fonte: Autora (2023)

A Figura 13 mostra o rompimento do corpo de prova e o mesmo logo após o rompimento.

Figura 13 - Rompimento dos corpos de prova.



Fonte: Autora (2023)

#### 4.6. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A Tabela 9, a seguir, apresenta os resultados obtidos para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral para os diferentes tipos de traços.

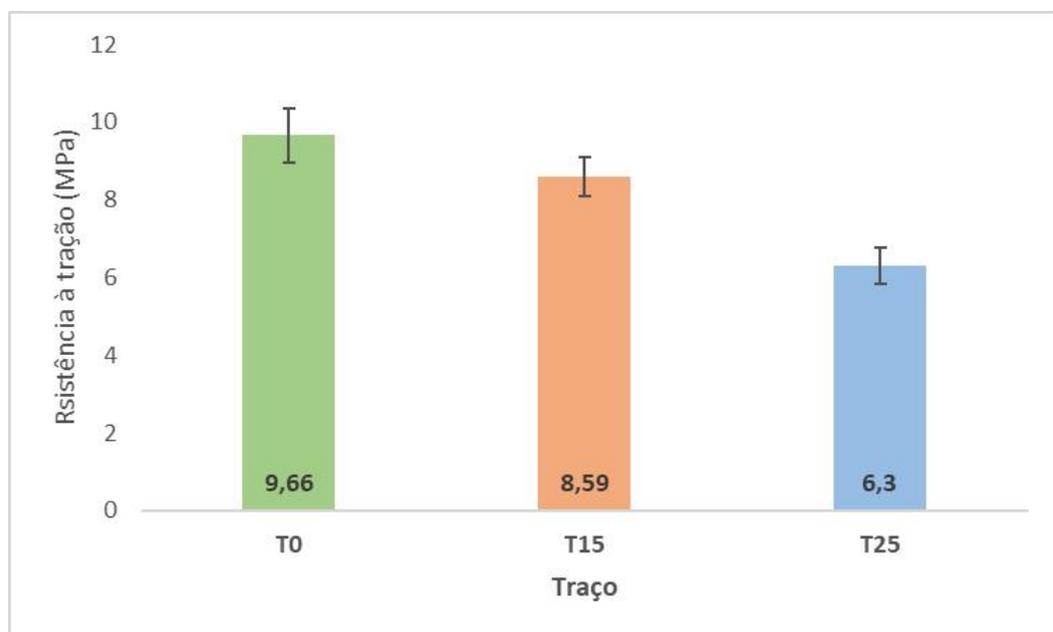
Tabela 9 - Resistência à Compressão Diametral

Traço	Resistência Atingida MPa	Resistência Atingida (%)	Perda de Resistência (%)
T0	9,66	100%	-
T15	8,59	88,91%	11%
T25	6,30	65,24%	35%

Fonte: Autora (2023)

Com os valores obtidos através do ensaio, no Gráfico 4 se encontra o resumo dos resultados para melhor comparação.

Gráfico 4 - Resistência à compressão diametral em 28 dias (MPa)



Fonte: Autora (2023)

Através dos resultados obtidos, nota-se que os resultados de resistência à tração obtidos no ensaio decaem conforme o teor de RCV aumenta, seguindo a mesma tendência do ensaio por compressão axial.

Podemos visualizar que em 28 dias o traço com 15% de substituição (T15) atinge cerca de 89% em relação ao traço sem substituição (T0), já o traço com 25%, atinge 65,24%, tendo uma redução de 35% da resistência.

Desse modo, com os resultados obtidos no ensaio de compressão diametral, o comportamento foi semelhante aos obtidos nos ensaios de compressão axial, provavelmente justificados pelos mesmos motivos já comentados.

Segundo Metha e Monteiro (2008) a relação entre a resistência à tração e compressão de concretos é cerca de 7% a 11%, contudo, neste estudo, essa relação da resistência ficou entre 42% e 48%, o que mostra que o uso de RCV não foi tão prejudicial sobre este aspecto. A relação pode ser visualizada na Tabela 10. Os corpos de prova já rompidos podem ser visualizados na Figura 14.

Tabela 10 - Relação entre resistência à tração e compressão

Traço	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Relação Tração/Compressão (%)
T0	22,78	9,66	42,42%
T15	17,86	8,59	48,09%
T25	13,21	6,30	47,72%

Fonte: Autora (2023)

Figura 14 - Corpos de prova rompidos no ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autora (2023)

#### 4.7 RESULTADOS DOS ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E DENSIDADE APARENTE

Com base nos valores de massa seca (Ms), massa saturada com superfície seca (Msat) e massa submersa (Mi) foram determinados os índices físicos do concreto em estudo. Para este ensaio foram utilizadas 3 amostras de cada traço, sendo feita uma média aritmética entre os valores medidos. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 11 - Resultado dos índices físicos do concreto

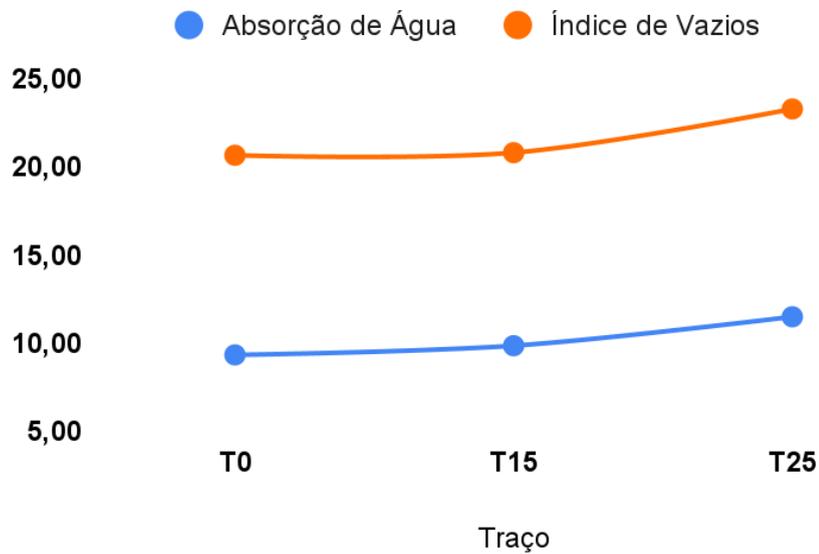
Traço	Absorção de Água (%)	Índice de Vazios (%)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
T0	9,35	20,65	2209,94
T15	9,87	20,80	2113,26
T25	11,51	23,28	2028,72

Fonte: Autora (2023)

Os resultados obtidos com esta análise indicam que quanto maior a porcentagem de substituição do cimento por resíduo cerâmico, maior a absorção de água e também maior o índice de vazios. Além disso, pode-se notar também, que a resistência à compressão de um concreto é inversamente proporcional ao índice de vazios, devido sua porosidade.

O Gráfico 5, apresenta a comparação do resultado dos índices.

Gráfico 5 - Absorção de água e índice de vazios



Fonte: Autora (2023)

Em relação a densidade do concreto, pode-se visualizar no gráfico abaixo que quanto maior o teor de substituição menor sua densidade, isso se deve ao fato que cerâmica vermelha absorve mais água que o cimento, e quanto mais água no concreto maior o índice de vazios, ou seja, menor será sua densidade.

Gráfico 6 - Densidade aparente do concreto



Fonte: Autora (2023)

A importância deste ensaio reside na preocupação com a durabilidade do concreto, especialmente em relação à entrada de água por capilaridade. Esse processo é considerado o principal desencadeador da corrosão das armaduras e, conseqüentemente, da redução da vida útil das estruturas.

## 6. CONCLUSÃO

Diante dos parâmetros e análises dos resultados dos ensaios experimentais pode-se concluir que a substituição do cimento por RCV nos traços de concreto gerou mudanças significativas no desempenho dos concretos.

Para o concreto no estado fresco, conclui-se que os concretos com maior teor de substituição de RCV necessitam de uma maior quantidade de água, visto que a trabalhabilidade e consistência foram afetados conforme o aumento da substituição e, isso se deve ao fato do RCV ser um material com maior teor de absorção e possuir uma quantidade maior de finos. Desse modo, devido a esses fatores, a relação a/c foi ajustada em até 62% em relação ao traço referência para manter a trabalhabilidade desejada.

Já para o concreto no estado endurecido, embora o esperado fosse que o resíduo de cerâmica vermelha pudesse atuar como material pozolânico e contribuir para a resistência do mesmo, na prática não ocorreu, a resistência à compressão e a tração diminuíram. Notou-se que quanto maior o teor de substituição menor foi a resistência. Por outro lado, pode-se notar a importância da cura na resistência do concreto, uma vez que, com base no estudo original elaborado por Carls (2017), observou-se uma queda de 50% na resistência devido à ausência da cura úmida.

A partir das análises dos índices físicos como taxa de absorção de água, índice de vazios e densidade aparente, os resultados apresentaram que na medida que a relação água/cimento e teor de substituição do cimento por RCV são alterados, as propriedades do concreto se modificam. Uma vez que a absorção de água e índice de vazios são proporcionais, quanto maior a porcentagem de RCV na mistura, maior a taxa de absorção de água e o índice de vazios, enquanto para a densidade aparente acontece ao contrário.

Sendo assim, diante dos resultados expostos, conclui-se que o RCV é um material com um alto teor de absorção de água devido a sua finura, sendo capaz de contribuir para o aumento da porosidade no concreto, fator que atua contra a resistência, além disso, pode-se dizer que o RCV com as características apresentadas neste trabalho não possui um índice de pozolanicidade suficiente para contribuir com a resistência do concreto, devendo ser apenas utilizado como uma adição mineral.

Desse modo, o uso do RCV, com as propriedades apresentadas neste trabalho, como substituição parcial do cimento não apresentou resultados satisfatórios, com isso, é indispensável a realização de estudos mais profundos em relação a esse tipo de concreto para determinar sua viabilidade e usabilidade.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar o desempenho mecânico do concreto com proporções menores de substituição do cimento por resíduo de cerâmica vermelha;
- A avaliação do desempenho de argamassas com substituição do cimento por resíduo de cerâmica vermelha;
- Avaliar o índice de pozolanicidade do resíduo de cerâmica vermelha;
- Avaliar o desempenho mecânico do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de cerâmica vermelha.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002, p. 03. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2022.

ALMEIDA, M. P. B.; TAMASHIRO, J. R.; PAIVA, F. F. G. et al. **Resíduo De Cerâmica Vermelha: Uso Em Materiais Cimentícios Na Construção Civil**. Editora Científica, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. **Informações técnicas – definição e classificação**. Disponível em: <http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 21 de maio de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização de cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Parâmetros de dosagem do concreto**. 2. ed. rev. São Paulo, ABCP, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Uma Breve História Do Cimento Portland**. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 17 de maio de 2023.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais ABRELPE. **Panorama de resíduos no Brasil**. dez. 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 18 maio. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**. Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 16889**. Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 9935**: Agregados - terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - determinação da composição granulométrica: Rio de Janeiro, 2003.

BARBOZA, L. S. A.; MENEZES. Concreto autoadensável com baixo consumo de cimento: impacto da redução do consumo de cimento na resistência à compressão, **Matéria**, Rio de Janeiro, 2018, v. 23, n. 3, e12195, 2018.

BATTAGIN, A. F.; DA CRUZ, F. R.; Cimento: Diferentes tipos e aplicações. São Paulo: ABCP, 2018. BOTOSSO, L. N. et al. Propriedades Mecânicas E Morfológicas Do Concreto Com Substituição Parcial De Agregado Miúdo Por Resíduo De Cerâmica Vermelha. **Colloquium Exactarum**, v. 11, n. 1, p. 79–88, 2019.

BOTOSSO, L. N. et al. Propriedades Mecânicas E Morfológicas Do Concreto Com Substituição Parcial De Agregado Miúdo Por Resíduo De Cerâmica Vermelha. **Colloquium Exactarum**, v. 11, n. 1, p. 79–88, mar. 2019.

BRISTOT, V. M. **Máquinas e Equipamentos Cerâmicos**. 01. ed. Criciúma: Editora Luana, 1996. v. 01. 296p.

CABRAL, A. E. B. et al. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 55, n. 336, p. 448-460, 2009.

CARLS, Jéssica Luana. **Estudo das propriedades do concreto com a utilização de resíduo de cerâmica vermelha como substituição parcial do cimento Portland**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2017.

SEBRAE. **Cerâmica Vermelha – Panorama do mercado do Brasil**. SEBRAE/SIM–Boletim de Inteligência. Sebrae Nacional, São Paulo, 2015.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições **minerai**s para concreto estrutural. Concreto: Ciência e Tecnologia. In: Geraldo Isaia. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2005.

GARCIA, E., CABRAL JUNIOR, M., QUARCIONI, V. A., et al. **Resíduo de cerâmica vermelha (RCV): uma alternativa como material pozolânico**. Revista Cerâmica Industrial, v. 19, n.4, pp. 31– 38, 2014.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland**. Cap. 29. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON. 2010.

INFORMAÇÕES Técnicas – Definição e Classificação. **ABCERAM**. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 27 de jul. 2022.

ISAIA, G. C. **A água no concreto**. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2011.

ISAIA, G.C. **Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de materiais**. IBRACON, 2ª Edição, São Paulo, 2010.

LIBÂNIO, M. P.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto**. Apostila do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas: Unicamp, 2004.

MEHTA E MONTEIRO. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. Ed: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto. 3 ed. São Paulo, 2008.

MOHIT, M.; SHARIFI, Y. Ceramic Waste Powder as Alternative Mortar-Based Cementitious Materials. **ACI Materials Journal**, v. 116, n. 6, nov. 2019.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. rev. atual. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookmann, 2016.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. rev. São Paulo: Globo, 1998.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: Obra Limpa: I&T: SindusCon-SP, 2005.

REBMANN, M. S., **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência**, Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2014.

ROCHA, Janaíde C.; JOHN, Vanderley M. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003

SCHNEIDER, Nelso. **Fck do concreto: o que é, como é obtido e quais são as recomendações normativas?**. NelsoSchneider, 2020. Disponível em: <<https://nelsoschneider.com.br/fck-do-concreto/>>. Acesso em: 18 de maio de 2023.

SEBRAE. **CERÂMICA VERMELHA: Panorama do mercado no Brasil**. Boletim Inteligência Dez. 2015.

SEM AUTOR. **O que é cura de concreto e como fazer uma cura eficiente?**. TECNOSIL, 2018. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-e-cura-de-concreto-e-como-fazer-uma-cura-eficiente/>>. Acesso em: 23 de maio de 2023.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. 14. ed. São Paulo: Pini: SindusCon-SP. 2014.

ZIMBILI, O.; SALIM, W.; NDAMBUKI, M. **A Review on the Usage of Ceramic Wastes in Concrete Production**. International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, v. 8, n. 1, p. 91–95, 2014.