

## Utilização da Cerâmica de Entulho na Substituição de Agregado Graúdo do Concreto

Ana Paula Stroher<sup>a\*</sup>, Daniel Seiji Kato<sup>b</sup>, Natália Ueda Yamaguchi<sup>c</sup>, Osorio Moreira Couto Junior<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR, Brasil

<sup>b</sup> Centro Universitário Cesumar – Unicesumar, Maringá, PR, Brasil

<sup>c</sup> Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas, Centro Universitário de Maringá – Unicesumar, Maringá, PR, Brasil

<sup>d</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Centro Universitário Cesumar – Unicesumar, Maringá, PR, Brasil

\*e-mail: [ana\\_stroher@hotmail.com](mailto:ana_stroher@hotmail.com)

### Resumo

O Brasil é o segundo maior consumidor de material cerâmico do mundo, chegando a um número próximo de 70 bilhões de peças produzidas por ano. A área da construção civil é responsável por gerar em torno de 40% da totalidade de resíduos, que se acumula em aterros, gerando vários problemas ambientais. O presente estudo busca maneiras alternativa na destinação do entulho cerâmico oriundo das construções civis. Propondo-se a reutilizá-lo como substituto da brita em 5%, 25% e 50% em conjunto ao cimento Portland CP-II com fck de 25 MPA, resultando em concreto. Verificou-se a trabalhabilidade do concreto fresco, obtendo um rebaixamento da massa variando de 4 a 4,5 cm. Para a simulação utilizou-se ensaio de resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de idade. Os ensaios que apresentaram maior resistência aos 28 dias de idade foram de 5% e 25%, tornando possível a utilização da cerâmica no concreto dentro da resistência exigido pela norma (20 Mpa).

**Palavras-chave:** cerâmica, cimento, resíduos, trabalhabilidade, resistência.

## 1. Introdução

A produção de cerâmica possui uma grande importância no crescimento econômico do Brasil, faturando somente no ano de 2010 cerca de 18 bilhões de reais, equivalente à aproximadamente 4,8% do total faturado pela indústria da construção civil, que representa 7,3% do produto interno bruto brasileiro, de acordo com a Associação Nacional da Indústria Cerâmica<sup>1</sup>.

Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER, no Brasil são encontrados em torno de 5.500 empresas no setor cerâmico, consumindo em média 10.300.000 toneladas de argila por mês<sup>2</sup>, colocando o Brasil de acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos<sup>3</sup>, na segunda colocação mundial de maior produtor e consumidor de cerâmica do mundo, perdendo apenas para a China. A cerâmica vermelha é um material de grande importância para a construção civil, considerada um dos recursos mais utilizados nas construções do Brasil, sendo encontrada na maioria das alvenarias e coberturas, resultando em uma produtividade anual de aproximadamente 70 bilhões de peças, composto por 25% de telha, 75% de lajotas, pisos e blocos<sup>3</sup>.

As construções com alvenarias tradicionais com blocos cerâmicos ou blocos de concreto produzem entre 0,10 a 0,15 m<sup>3</sup> de resíduos por m<sup>2</sup> de área construída, sendo que 50% deste volume é constituído por concreto, cerâmica, argamassa e alvenaria<sup>4</sup>. A construção civil por necessitar de uma grande demanda de material, é uma das maiores geradoras de entulhos no estado de São Paulo, responsável por mais da metade do volume total dos

resíduos sólidos urbanos, sendo que a cerâmica representa parte significativa deste<sup>5</sup>.

Na produção da cerâmica, 3% do volume total produzido tem o destino para entulho. Levando esta estimativa em conta, seria um número de aproximadamente 11 mil peças descartadas ou então 19 mil quilogramas por mês, a cada indústria<sup>6</sup>. Segundo o autor, número de resíduos cerâmicos gerados na confecção de telhas é considerável e justifica o ato de reciclagem do material.

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente<sup>7</sup>, a cerâmica encaixa-se na classe A de entulho, resíduos recicláveis, podendo ser triturados e aproveitados com areia e brita. Para o descarte deste material é necessário local apropriado, sendo que há um valor cobrado por metro cúbico, e nem todas as cidades o possuem<sup>8</sup>.

Em virtude disso a sustentabilidade tem sido um tema altamente abordado e de grande importância, sendo que um de seus maiores problemas está na área da construção civil, responsável por gerar em média, 40% da totalidade dos resíduos segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – (CBIC). Os órgãos públicos, portanto, fazem grande pressão sob as empresas no setor de construção afim de priorizar a sustentabilidade e buscando incentivar melhoria no desempenho socioambiental das construções<sup>9</sup>.

A busca pela sustentabilidade depara-se com o desafio de que grande parte dos materiais utilizados em obras civis são os agregados, materiais não renováveis, tornando-se exíguo em certas regiões do Brasil<sup>10</sup>.

A reciclagem de entulho de obras de construções advém do objetivo de preservar o meio ambiente, suprimindo a demanda de novos materiais e dando destinação sustentável aos resíduos. De acordo com Trigueiro<sup>11</sup>, confecção de blocos com o uso de material reciclado, é aproximadamente 40% mais econômica do que a convencional.

### 1.1. Justificativa

Em virtude dos crescentes números na geração de entulho, principalmente nas cerâmicas, justifica-se o estudo da viabilidade de incorporação desta no cimento, afim de gerar novas possibilidades de reciclagem e minimização de danos ao meio ambiente, bem como baratear o custo na fabricação de concreto.

## 2. Objetivos

Pretende-se comparar e avaliar o comportamento da resistência mecânica do concreto composto por cimento, areia, água e brita, substituindo total e parcialmente a brita pela cerâmica, averiguando qual a porcentagem de substituição proporciona uma maior resistência mecânica, estando de acordo com os padrões mínimos exigido pela norma técnica de concreto estrutural, pretende-se ainda avaliar a trabalhabilidade do concreto em cada traço realizado.

## 3. Fundamentação teórica e revisão bibliográfica

### 3.1. Resíduos sólidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 10004/2004)<sup>12</sup> define resíduos sólidos como:

Todo resíduo nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistema de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviáveis o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Segundo Yazigi<sup>13</sup>, resíduos sólidos são denominado por materiais descartados que são gerados através de comércio, indústria e serviço da sociedade em geral, podendo ser urbana, rural, privada ou pública.

Resíduos da construção civil são os materiais resultantes de construções, das reformas, dos reparos e das demolições de obras, e os materiais que dão origem a preparação e da escavação dos terrenos, como por exemplo: telhas, lajotas, concreto, rochas, metais, tintas, madeiras, etc., nomeados de entulhos de obras<sup>7</sup>

### 3.2. Concreto fabricado

#### 3.2.1. Tijolo cerâmico

O tijolo cerâmico é um material feito pela argila que por sua vez é composta por uma grande parte de argilominerais, com partículas inferiores a 4 µm, podendo ser encontrado

impurezas, com a adição de água a argila começa a ganhar plasticidade, e adquire uma alta resistência mecânica se elevar a sua temperatura acima de 1000 °C<sup>5</sup>.

#### 3.2.2. Telha cerâmica

A produção de telhas cerâmicas possui um processo idêntico ao de tijolos convencionais, e requer uma espessura mais fina e homogênea<sup>13</sup>.

#### 3.2.3. Placas cerâmicas de Revestimento

De acordo com a ABNT (NBR 13816/1997)<sup>14</sup> a placa cerâmica são laminas finas compostos por argila ou matérias primas inorgânicas, usados para revestimento em pisos e paredes.

#### 3.2.4. Concreto

Concreto é uma rocha artificial com uma resistência idêntica à de uma rocha natural resultante de uma mistura, após seu endurecimento, de água, agregado graúdo, agregado miúdo, aglomerante (geralmente cimento Portland), podendo ter aditivos químicos ou não. O concreto é um material muito utilizado em construções, são encontrados em pontes, prédios, torres, rodovias, etc<sup>15</sup>.

#### 3.2.5. Cimento Portland

Cimento Portland é formado por pó de clínquer e adições, que ao ter contato com a água começam a se enrijecer e ganhando resistência, utilizado para formação do concreto<sup>16</sup>.

Segundo Petrucci<sup>17</sup>, cimento Portland é formado por aluminato de cálcio e silicatos, sendo ele um material pulverulento praticamente sem cal livre, e quando misturado com água, são hidratadas enrijecendo sua massa e então aumentando sua resistência mecânica.

#### 3.2.6. Agregado graúdo

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 7211/2009)<sup>18</sup> classifica agregado graúdo como:

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

De acordo com Kulair<sup>9</sup>, os principais usos do agregado graúdo na construção civil são: bloquetes, lajes, lajotas, construções de edificações e pontes, concretos com maiores resistências, jateamentos de tuneis, fossas, drenos sépticos e acabamentos em geral.

#### 3.2.7. Agregado miúdo

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 7211/2009)<sup>18</sup> classifica agregado miúdo como:

Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

Petrucci<sup>17</sup>, definia areia como “[...] material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte, com

dimensões, características e propriedades adequadas ao uso da engenharia civil”.

Segundo Kulair<sup>19</sup>, algumas das principais utilizações do agregado miúdo na construção civil são: embolso, tubulações, tanque, componentes de asfalto e concreto e assentamento de bloquetes.

### 3.2.8. Traço

O traço de um concreto é a definição de dosagem de cada componente do concreto, podendo ser indicado em proporções em peso, volume ou ambas, sempre tendo o uso do cimento como referência, relacionando a quantidade dos componentes à quantidade de cimento<sup>17</sup>.

### 3.3. Cura

A cura tem o princípio de evitar a evaporação rápida da água na hora da hidratação do material. O produto da hidratação mantém ocupado os vazios no momento de sua hidratação, mantendo sempre saturado<sup>20</sup>.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12025/1990<sup>21</sup>, a cura dos corpos de prova devem ser no mínimo de 7 dias.

De acordo com a ABNT (NBR 5738/2015)<sup>22</sup>, o período da primeira cura deverá ser realizado em uma superfície horizontal sem a presença de vibrações ou de qualquer outra ação que perturbe o concreto.

### 3.4. Ensaios

#### 3.4.1. Ensaio granulométrico

De acordo com Lodi<sup>23</sup>, ensaio granulométrico é a classificação dos tamanhos das partículas e a quantidade em porcentagem, a granulometria dos agregados possui uma grande importância na resistência a compressão do material feito, podendo minimizar ou maximizar o índice de vazios devido a variação da quantidade e do tamanho.

O ensaio de peneiramento é feito por uma sequência de peneiras definidas pela NBR 10703/1997<sup>24</sup> que sofrem vibrações para a retenção do material com granulometria desejada.

#### 3.4.2. Ensaio de *slump test*

*Slump Test* é um ensaio utilizado para caracterizar a consistência e o grau de utilização para a trabalhabilidade do concreto fresco. *Slump Test* é um ensaio realizado com o intuito de avaliar a trabalhabilidade do concreto no estado plástico, e por sua vez verificar a sua consistência.

De acordo com a ABNT (NBR NM 67, 1998)<sup>25</sup> o ensaio deve ser realizado com a ajuda de uma haste metálica com 600 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro, placa de base metálica deve ser quadrada com 500 mm de lado ou superior e 3 mm de espessura ou superior, e o tronco de cone com diâmetro superior de 100 mm  $\pm$  2, diâmetro inferior de 200 mm  $\pm$  2 e com altura de 300 mm  $\pm$  2.

#### 3.4.3. Ensaio de resistência à compressão

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 8492/1984)<sup>26</sup>, o ensaio de compressão é realizado com equipamentos precisos, que aplicam cargas

uniforme sem choques e controlando a velocidade e o tempo da aplicação.

O ensaio de compressão é um ensaio que podemos avaliar a resistência a compressão de um material estudado.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Coleta do material

Foi necessário a coleta de aproximadamente 8 kg de material cerâmico, amostrado em entulhos de obra na cidade de Maringá como pode ser visto na Figura 1, pois sendo material cerâmico pode ser de qualquer entulho independentemente do local. Foi coletado telhas cerâmicas, tijolos cerâmicos de lajes e alvenarias.

### 4.2. Estudo do material

#### 4.2.1. Trituração do material

Na trituração da cerâmica foi necessário um martelo de pena reta para a realização da quebra do material deixando-a em uma dimensão adequada para o ensaio granulométrico.

#### 4.2.2. Ensaio granulométrico

Depois da trituração, separou-se uma porção do material e colocou na estufa de secagem (105-110) °C, após o material encontrar-se na temperatura ambiente (25 °C), deu-se o início ao ensaio granulométrico, com a utilização da base vibratória com peneira.

A Figura 2 ilustra a base vibratória utilizada no ensaio de granulometria.

### 4.3. Escolha do traço

O traço escolhido para o concreto convencional foi: 1:2:3, levando em consideração a resistência do concreto estrutural de 25 Mpa, pois este é um traço de obras de grande responsabilidade, sendo uns dos traços mais utilizados nesse tipo de obra, podendo assim adquirir uma demanda significativa do entulho de cerâmica.

Adaptando o traço 1:2:3 com variações de substituição do agregado graúdo por cerâmica em 0%, 5%, 25%, 50%, obtemos diferentes traços para cada substituição, como pode ser visto na Tabela 1.

A Tabela 2 representa a quantidade de material que foi necessário para a realização de cada traço, sendo 6 corpos de prova por traço.



Figura 1. Entulho da obra.

**Tabela 1.** Traço obtidos para cada substituição realizado.

% de substituição da brita por cerâmica	Agregados			
	Cimento	Areia	Brita	Cerâmica
0	1	2	3	-
5	1	2	2,85	0,15
25	1	2	2,25	0,75
50	1	2	1,50	1,50

#### 4.4. Fabricação do concreto

Com a betoneira, foi realizado a mistura dos materiais para a confecção da massa em 5 etapas:

- 1º etapa foi introduzido o agregado graúdo;
- 2º etapa adicionou-se 80% do total da água;
- 3º etapa foi acrescentado o cimento;
- 4º etapa adicionou-se o agregado miúdo;
- 5º etapa foi-se ajustando com adição de água.

Todos os traços com diferentes porcentagens de adição de cerâmica foram confeccionados na mesma data para não haver variação brusca na temperatura e na umidade do ar, que constavam a temperatura de 34°C e umidade relativa do ar em 21%.

#### 4.5. Ensaios do concreto

##### 4.5.1. Ensaio de Slump Test

Este teste foi realizado com a utilização dos materiais definido pela norma ABNT (NBR NM 67/1998)<sup>25</sup>, como pode ser visto na Figura 3 em etapas: foi colocado um terço de concreto do volume do tronco de cone e assentou-se com 25 golpes com a haste, esse procedimento foi repetido mais duas vezes, e então se retirou o tronco de cone com cuidado em um período de tempo de 10 segundos, colocando de ponta cabeça ao lado do concreto e mediu-se a diferença de tamanho entre os dois.

Para esse trabalho fixou-se o abaixamento médio pelo tronco de cone em  $5 \pm 1$  cm, por ser o abatimento convencional para estruturas. Se o resultado obtido não foi o esperado, o concreto deve voltar para a betoneira e adicionar água até atingir o resultado esperado. O concreto utilizado no ensaio de slump test não poderá ser utilizado para a confecção dos corpos de prova, devendo ser descartado.

#### 4.6. Fabricação dos corpos de prova

##### 4.6.1. Preparação dos moldes

Segundo a ABNT (NBR 5738/2015)<sup>22</sup>, antes de se preencher os moldes com concreto, estes devem ser revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral, para uma melhor retirada do corpo de prova após a sua cura.



**Figura 2.** Base vibratória. Solocap.



**Figura 3.** Equipamentos para o ensaio de Slump Test.

##### 4.6.2. Confecção dos corpos de prova

Segundo a ABNT (NBR 5738/2015)<sup>22</sup>, para garantir a uniformidade do concreto na confecção manual dos corpos de prova com a base de 100 mm, deve ser realizado 2 etapas: Na primeira etapa colocar metade do volume

**Tabela 2.** Quantidade de material para cada traço.

Substituição do agregado graúdo %	Quantidade de material utilizado					
	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Água teórico (L)	Água pratico (L)	Cerâmica (Kg)
0	6,00	13,02	17,64	3,66	2,44	0,00
5	6,00	13,02	8,38	0,44	3,66	2,65
25	6,00	13,02	6,62	2,21	3,66	3,00
50	6,00	13,02	4,41	4,41	3,66	3,60

total do molde e assentar com 12 golpes usando a haste, na segunda etapa repetir o procedimento anterior, na terceira etapa realizar o arrasamento da superfície da amostra. Os corpos de prova devem ser confeccionados todos no mesmo dia.

Após a confecção dos corpos de prova, evitar golpes, inclinações, trepidações, qualquer movimento que possa perturbar o concreto ou danificar a superfície superior do corpo de prova.

#### 4.6.3. Cura

Após 24 horas da secagem, os corpos de prova foram levados à câmara úmida para sua cura, ficando expostas a uma umidade de 95% e temperatura de  $23 \pm 2$  °C por um período de 7, 14 e 28 dias.

As amostras foram retiradas pouco antes do ensaio e mantidos em uma temperatura de  $23 \pm 2$  °C e umidade relativa de  $50 \pm 15\%$  até o momento do rompimento.

Na Figura 4, pode ser visto o umidificador utilizado para controlar e manter a temperatura e a umidade da câmara úmida dentro da norma ABNT (NBR 5738/2015)<sup>22</sup>.

#### 4.7. Ensaio de resistência à compressão

Para a realização do ensaio a compressão, foi necessário que o corpo de prova passasse pela retífica para polir o topo e a base da amostra, com intuito de melhor distribuição de força aplicada sobre o corpo de prova

A Figura 5 representa a retificadora, equipamento para a realização do polimento da amostra.

Após o polimento, o corpo de prova foi envolvido por uma sacola plástica para impedir que o concreto espirre ao seu redor ao longo do ensaio, conforme a Figura 6.

As Figuras 7 e 8 retratam a amostra já posicionada na prensa hidráulica para o seu rompimento.

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Ensaio granulométrico

Foram realizados dois ensaios granulométricos, para a brita e para o agregado reciclado, para isso foi utilizado o fundo e as peneiras 9,5 mm e 4,75 mm junto com a base vibratória. A curva granulométrica gerado pela cerâmica e pela brita podem ser vistos nas Figuras 9 e 10

Segundo Fonseca<sup>10</sup>, na comparação da composição granulométrica entre a brita e a cerâmica triturado, o agregado graúdo reciclado demonstrou um módulo de finura abaixo do agregado natural.



**Figura 4.** Umidificador. Joape, Cassino.



**Figura 5.** Retificadora. Setor Industria, SET 50.

Pode ser visto na Tabela 3 a comparação entre a brita e a cerâmica triturada em relação a sua granulometria.

As porcentagens retidas no ensaio de Fonseca, foram relativamente baixos se comparado com este ensaio,

tornando o agregado grão de Fonseca com pouca presença de cerâmica de grandes dimensões, podendo ser o método de moagem do material responsável por essa diferença de granulometria.



Figura 6. Corpo de prova envolvido pela sacola plástica.



Figura 7. Amostra posicionada na prensa hidráulica.

Os materiais retidos nas peneiras de mesh 4 e 3/8 podem ser visto na Figura 11 e os materiais retidos no fundo da peneira podem ser vistos na Figura 12.



Figura 8. Prensa hidráulica. Emic, PC100C.

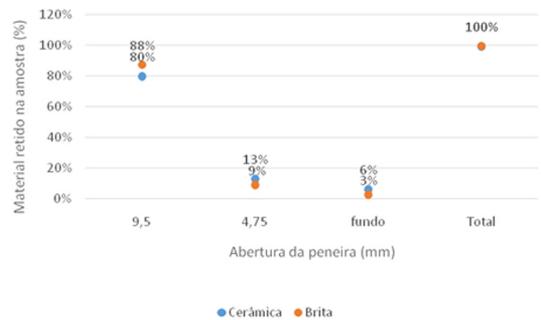


Figura 9. Comparação da porcentagem do material retido em cada peneira da cerâmica e da brita.

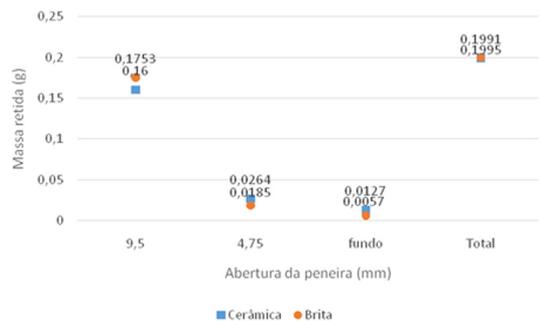


Figura 10. Comparação do peso do material retido em cada peneira da cerâmica e da brita.

A Tabela 4 apresenta os valores do ensaio granulométrico dos dois materiais.

Apesar da granulometria dos dois materiais não serem iguais, os resultados foram bem próximos, obtendo uma variação máxima do peso retido em cada peneira de 8%.

A maioria do material cerâmico ficou retida na peneira com abertura de 9,5 mm, demonstrando que a cerâmica utilizada no ensaio é de maior dimensão.

## 5.2. Fabricação do concreto

A utilização de água na confecção do concreto é de grande importância, pois ela interfere na relação água/cimento, ou seja, na resistência do concreto. A quantidade de água necessário em cada traço ser visto na Figura 13.

De acordo com Fonseca<sup>10</sup>, a absorção de água da brita comparada com a da cerâmica é consideravelmente mais baixa, como pode ser visto na Tabela 5.

Quanto maior a porcentagem de substituição do agregado natural por reciclado, mais água será necessário para obter a trabalhabilidade esperado. Como a absorção da cerâmica é superior que o da brita, a relação água/cimento será diferente para cada traço como pode ser visto na Tabela 6.



Figura 11. Peneiras mesh 4 e 3/8.



Figura 12. Materiais obtidos no fundo.

## 5.3. Ensaio de slump test

O ensaio de *slump test* foi realizado em 3 camadas de assentamento com a haste, procedimento realizado para que não houvesse presença de vazios, por fim foi retirado

Tabela 3. Ensaio granulométrico da brita e da cerâmica.

Brita		Cerâmica	
Peneiras (mm)	% retida	Peneiras (mm)	% retida
9,5	36,9	9,5	36,6
4,8	0,2	4,8	0,8
Módulo de finura	6,8	Módulo de finura	6,78

Fonte: Fonseca<sup>10</sup>.

Tabela 4. Ensaio granulométrico.

Peneiras (mm)	Cerâmica		Brita	
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida
9,5	0,16	80	0,1753	88
4,75	0,0264	13	0,0185	9
Fundo	0,0127	6	0,0057	3
Total	0,1991	99	0,1995	100

Tabela 5. absorção de água do agregado graúdo natural e reciclado.

Fração granulométrica	Tipo do material	Absorção %
Graúdo	Brita	1,8
	Cerâmica	17,5

Fonte: Fonseca<sup>10</sup>.

Tabela 6. Fator água/cimento de cada traço.

Traço	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4
Substituição	0%	5%	25%	50%
Quantidade de água necessário (kg)	2,44	2,65	3	3,6
Quantidade de cimento necessário (kg)	6	6	6	6
Fator a/c	0,41	0,44	0,50	0,60

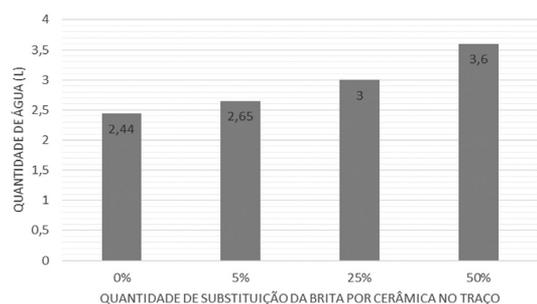


Figura 13. Utilização de água para cada traço.



**Figura 14.** Resultados *slump test* para cada traço: (a): 0%, (b): 5%, (c): 25%, (d): 50%.

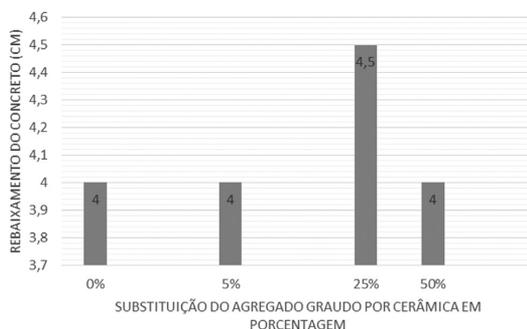
o tronco de cone lentamente por um período mínimo de 10 segundos. Os resultados do ensaio de *slump test* para cada traço podem ser vistos na Tabela 7 e na Figura 14.

Os resultados dos ensaios de *slump test* foram agrupados em um gráfico para comparação, representado na Figura 15.

Os ensaios de abatimento por tronco de cone encontra-se dentro da margem anteriormente definido ( $5 \pm 1$  cm), por apresentar um rebaixamento consideravelmente baixo, a sua trabalhabilidade pode ser considerada difícil, porém como o fator a/c é menor a expectativa é de obter-se uma maior resistência à compressão.

De acordo com Ripper<sup>27</sup>, para cada finalidade de concreto a um limite de fluidez, como pode ser visto na Tabela 8.

De acordo com a tabela de Ripper<sup>27</sup>, os abatimentos adquiridos nos traços 1, 2, 3 e 4 possuem uma consistência firme ou firme até plástico, podendo ser usado para fundações e muros não armados, muros armados, elementos pré-fabricados e pavimentações.



**Figura 15.** Resultados dos ensaios de *slump test* de cada traço.

#### 5.4. Ensaio de resistência a compressão ao 7º dia de idade

A Tabela 9 representa a resistência mecânica de cada traço 7 dias após a sua moldagem em Mega Pascal (Mpa).

Observa-se que a partir do aumento da porcentagem de substituição do agregado natural por cerâmica, as

resistências à compressão vão diminuindo, demonstrando que quanto maior a quantidade de cerâmica no concreto, menor vai ser sua resistência.

A Figura 16 ilustra os resultados das resistências mecânicas dos traços ao 7º dia de idade para uma melhor comparação.

Segundo Pimenta<sup>28</sup>, a resistência à compressão ao sétimo dia do concreto convencional com a utilização de pó de brita obteve seguintes resultados que podem ser vistos na Tabela 10.

A Tabela 11 representa os traços usado no experimento de Pimenta<sup>28</sup>.

Se comparar os resultados obtidos com os de Pimenta<sup>28</sup>, observamos por mais que o trabalho de Pimenta use a substituição do cimento por pó de cerâmica, os resultados ficaram próximos, aumentando a diferença apenas quando ocorre o aumento da substituição do agregado por cerâmica, resultando em resultados notavelmente baixo.

As resistências obtidas no 7 dia de idade no traço 1 e 2 de adição de cerâmica obtiveram resultados próximos, mas ainda assim os resultados à compressão do concreto de 5% de substituição é menor que a do concreto convencional.

**Tabela 7.** Resultados slump test.

Traço	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4
Substituição do agregado graúdo	0%	5%	25%	50%
Ensaio Slump Test (cm)	4	4	4,5	4

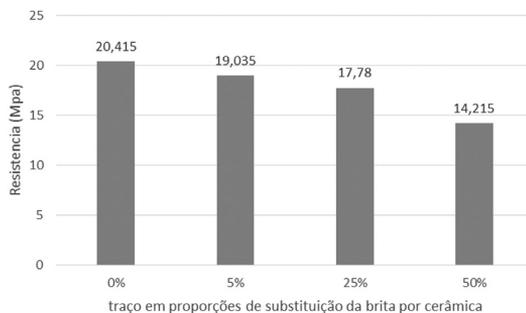
Os traços 3 e 4 já apresentou resultados consideravelmente inferior da amostra convencional.

A diferença dos resultados da resistência à compressão em porcentagem entre os traços pode ser visto na Tabela 12.

### 5.5. Ensaio de resistência a compressão ao 14º dia de idade

A resistência mecânica dos corpos de prova ao 14º dia de idade em Mega Pascal (Mpa), pode ser visto na Tabela 13.

Os traços 1 e 2 aos 14 dias de idade apesar de não atingiram o esperado pelo trabalho (25 Mpa), obtiveram bons resultados, superiores à resistência exigido pela norma de concreto estrutural (20 Mpa). Já o traço 3 e 4, como esperado pelo resultado aos 7 dias de idade, não tiveram resultados muito satisfatório, resultando em uma resistência abaixo da norma de concreto estrutural.



**Figura 16.** Comparação entre as resistências mecânica dos traços ao 7º dia de idade em Mpa.

**Tabela 8.** Limites de abatimento (Slump Test) para diversos tipos de concreto.

Tipo de construções	Consistência	Valores de abatimento em mm						
		Tipo de execução de concreto						
		Sem ou com controle tecnológico				Controle rigoroso		
		Vibração						
		Sem		Com		Sem		
min.	Max.	min.	Max.	Max.				
Fundações e muros não armado	Firme	20	40	20	60	10	50	
Fundações e muros armados	Firme até plástico	30	80	30	70	20	60	
Estruturas comuns	Plástico	60	80	50	70	40	60	
Peças esbeltas ou com excesso de armadura	Mole até plástico	80	110	70	90	60	80	
Concreto aparente	Plástico até mole	70	100	60	80	50	70	
Concreto bombeado	Até 40 metros	Mole	-	-	80	100	70	90
	Mais de 40 metros	Muito mole	-	-	90	130	80	100
Elementos pré-fabricados	Plástico até firme	30	100	30	80	20	70	
Lastros-pisos	Firme até plástico	60	80	50	70	30	40	
Pavimentação	Firme	-	-	20	50	10	30	
Blocos maciços (concreto socado)	Muito firme(úmido)	-	-	10	30	0	20	

Fonte: Ripper<sup>27</sup>.

**Tabela 9.** Resistencia mecânica ao 7 dia de idade em Mpa.

Traço	Substituição do agregado por cerâmica %	Amostra 1	Amostra 2	Média
Traço 1	0	21,25	19,58	20,42
Traço 2	5	19,84	18,23	19,04
Traço 3	25	17,01	18,55	17,78
Traço 4	50	14,49	13,94	14,22

**Tabela 10.** Resultados de Resistência a Compressão - CCV sem Aditivo.

Traços sem aditivos		
	Traço	Ensaio 7 dias (MPa)
T.R.	Traço 1	18,67
T.M.	Traço 2	22,87
T.R.	Traço 3	19,47
T.M.	Traço 4	18,33
T.R.	Traço 5	17,15
T.M.	Traço 6	19,00

Fonte: Pimenta<sup>28</sup>. Onde: T.R. = Traço de Referência; T.M. = Traço com Mistura.

**Tabela 11.** Traços com Relação A/C e Abatimento - CCV Sem e Com Aditivo.

Traço	Areia	Brita	Pó	a/c	slump (mm)
Traço 1	1,78	2,14	-	0,51	115
Traço 2	1,25	2,14	0,53	0,51	95
Traço 3	1,56	2,36	-	0,50	115
Traço 4	1,09	2,36	0,47	0,50	105
Traço 5	1,36	2,56	-	0,51	105
Traço 6	0,95	2,56	0,41	0,51	100

Fonte: Pimenta<sup>28</sup>.

**Tabela 12.** Diferença dos resultados à compressão dos traços aos 7 dias de idade em relação ao concreto convencional.

Traço	% de substituição	Resistencia à compressão (MPa)	Diferença em relação ao concreto convencional (Mpa)	Diferença em relação ao concreto convencional %
Traço 1	0	20,42	0	0
Traço 2	5	19,04	-1,38	-6,76
Traço 3	25	17,78	-2,64	-12,93
Traço 4	50	14,22	-6,20	-30,36

Os resultados do rompimento das amostras ao 14° dia de idade em Mpa podem ser visto na Figura 17, para uma melhor comparação dos resultados.

Segundo Wada<sup>29</sup>, os resultados da resistência à compressão com a adição dos resíduos de cerâmica vermelha como agregado miúdo no concreto, obteve resultados favoráveis, tendo a resistência diretamente proporcional à adição de cerâmica (29). Em geral, os trabalhos realizado com a utilização do resíduo cerâmico como agregado tem-se um resultado satisfatório na propriedade física do concreto.

A resistência mecânica dos diversos traços dos ensaios no estudo de Wada<sup>29</sup>, pode ser visto na Tabela 14.

As resistências obtidas nos ensaios são notavelmente superiores se comparada com os resultados de Wada<sup>29</sup>.

Os resultados dos corpos de prova aos 14 dia de idade obtiveram grandes ganhos de resistência mecânica se comparados com os de 7 dias de idade, como pode ser visto na Tabela 15.

Observa-se que o maior ganho de resistência de 7 para 14 dias de idade ocorreu com o traço 2, porém ainda obtendo uma resistência inferior a do concreto referência.

A resistência mecânica do traço 2 aos 14 dia de idade ficou muito próximo ao do concreto convencional, já os traços 3 e 4 obtiveram resultados bem abaixo que o traço 1, como pode ser visto na Tabela 16.

### 5.6. Ensaio de resistência a compressão ao 28° dia de idade

A resistência mecânica dos corpos de prova ao 28° dia de idade em Mega Pascal (Mpa), pode ser vista na Tabela 17.

Os resultados do rompimento das amostras ao 28° dia de idade em Mpa podem ser vistos na Figura 18, para uma melhor comparação dos resultados.

**Tabela 13.** Resistência mecânica das amostras ao 14° dia de idade em Mpa.

Traço	Substituição do agregado por cerâmica %	Amostra 1	Amostra 2	Média
Traço 1	0	24,25	24,72	24,49
Traço 2	5	24,89	21,48	23,19
Traço 3	25	17,51	18,23	17,87
Traço 4	50	16,31	16,03	16,17

**Tabela 14.** Dados do estudo de dosagem; traços rico, intermediário e pobre.

Traços para estudo de dosagem				
Traço 1:m		6	8	10
Propriedades do concreto endurecido	Resistencia aos 14 dia de idade (Mpa)	22,9	16,3	8,7

Fonte: Wada<sup>29</sup>.

**Tabela 15.** Ganho de resistência das amostras entre 7 e 14 dias de idade.

Traço	Substituição do agregado por cerâmica %	Resistencia mecânica ao 7º dia de idade	Resistencia mecânica ao 14º dia de idade	Ganho de resistência em %
Traço 1	0	20,42	24,49	19,99
Traço 2	5	19,04	23,19	21,86
Traço 3	25	17,78	17,87	0,51
Traço 4	50	14,22	16,17	13,79

**Tabela 16.** Diferença dos resultados à compressão dos traços aos 14 dia de idade em relação ao concreto convencional.

Traço	% de substituição	Resistencia à compressão (MPa)	Diferença em relação ao concreto convencional (Mpa)	Diferença em relação ao concreto convencional (%)
Traço 1	0	24,49	0	0
Traço 2	5	23,19	-1,30	-5,31
Traço 3	25	17,87	-6,62	-27,03
Traço 4	50	16,17	-8,32	-33,97

**Tabela 17.** Resistencia mecânica das amostras ao 28º dia de idade em Mpa.

Traço	Substituição do agregado por cerâmica %	Amostra 1	Amostra 2	Média
Traço 1	0	28,75	27,93	28,34
Traço 2	5	27,05	26,52	26,79
Traço 3	25	21,63	22,70	22,17
Traço 4	50	19,33	19,55	19,44

De acordo com Oliveira<sup>30</sup>, o aumento da resistência mecânica dos concretos com maior porcentagem de substituição de cimento por cerâmica de 7 para 28 dias de idade, obtiveram um ganho maior em relação ao concreto referência, porém não conseguiu superar o resultado da resistência do concreto convencional.

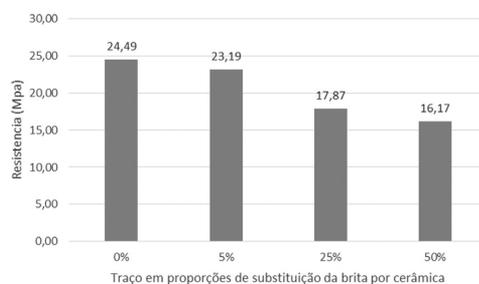
A perda de resistência nas amostras de 7 e 28 dias de idade em relação ao concreto referência do ensaio de Oliveira<sup>30</sup>, podem ser vistos na Tabela 18.

No ensaio de resistência à compressão ao 28º dia de idade observa-se que o único traço com a substituição do agregado graúdo natural por cerâmica que atingiu um resultado maior que 25 Mpa, foi o traço 2. Notando que a quantidade de substituição do agregado graúdo é inversamente proporcional a sua resistência, formando uma tendência linear em relação a sua perda de resistência.

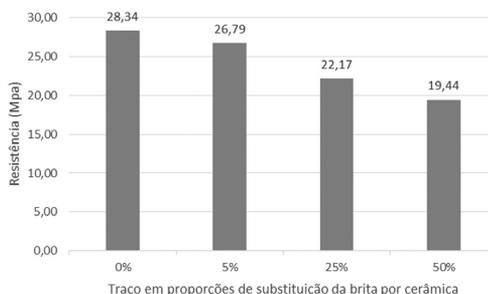
O ganho de resistência mecânica do 7º para o 28º dia de idade dos traços podem ser vistos na Tabela 19.

Para uma melhor visualização, a comparação dos resultados da resistência à compressão ao 7º, 14º e 28º dia de idade foi criado um gráfico, como pode ser visto na Figura 19:

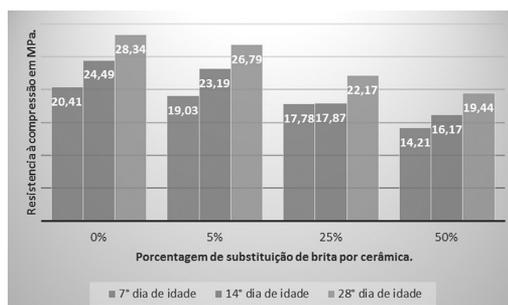
Nota-se que a perda de resistência mecânica do traço 2 em relação ao concreto convencional foi de pequena diferença, já os traços 3 e 4 mostraram uma diferença significativa em relação ao traço 1, como pode ser visto na Tabela 20.



**Figura 17.** Comparação entre as resistências mecânica dos traços ao 14º dia de idade em Mpa.



**Figura 18.** Comparação entre as resistências mecânica dos traços ao 28º dia de idade em Mpa.



**Figura 19.** Comparação dos resultados de resistência à compressão ao 7º, 14º e 28º dia de idade.

**Tabela 18.** Perda de resistência.

Concreto	Comparação com o concreto de referência			
	Idade (7 dias)		Idade (28 dias)	
	Resistencia (Mpa)	Perda de resistência	Resistencia (Mpa)	Perda de resistência
Referência	13,15	-	25,78	-
10% substituição	12,1	7,98	23,91	7,25
20% substituição	11	16,34	24,23	6,61
30% substituição	9,54	27,45	21,22	17,68

Fonte: Oliveira<sup>30</sup>.

**Tabela 19.** Ganho de resistência mecânica do 7° para 28° dia de idade.

Traço	Substituição do agregado por cerâmica (%)	Resistência mecânica ao 7° dia de idade	Resistência mecânica ao 14° dia de idade	Resistência mecânica ao 28° dia de idade	Ganho de resistência em %, entre 7 e 14 dias	Ganho de resistência em %, entre 7 e 28 dias
Traço 1	0	20,41	24,49	28,34	19,99	38,85
Traço 2	5	19,03	23,19	26,79	21,86	40,78
Traço 3	25	17,78	17,87	22,17	0,51	24,69
Traço 4	50	14,21	16,17	19,44	13,79	36,81

**Tabela 20.** Diferença dos resultados à compressão dos traços aos 28 dia de idade em relação ao concreto convencional.

Traço	% de substituição	Resistência à compressão	Diferencia em relação ao concreto convencional (Mpa)	Diferencia em relação ao concreto convencional %
Traço 1	0	28,34	0	0
Traço 2	5	26,79	-1,55	-5,47
Traço 3	25	22,17	-6,17	-21,77
Traço 4	50	19,14	-9,20	-32,46

## 6. Conclusão

É possível notar que o concreto convencional e os concretos com a substituição possuem uma trabalhabilidade consideravelmente baixa, obtendo um rebaixamento de 4 cm nos traços de 0%, 5% e 50% e um rebaixamento de 4,5 cm no ensaio de 25%, considerando as suas consistências como firme.

Observou-se que quanto maior a presença da cerâmica no concreto mais água será necessário, ou seja a relação água/cimento cresce proporcionalmente em relação a substituição da brita por cerâmica, notando que a absorção de água do material cerâmico é relativamente alto se comparado com a brita, ocasionando uma perda de resistência do concreto quanto maior a presença de cerâmica no concreto.

O traço 2, aos 28 dias de idade, com a substituição de 5% do agregado gráudo natural por brita obteve uma resistência à compressão de 1,79 MPa superior ao desejado pelo trabalho (25 Mpa) e uma porcentagem de -5,47% abaixo do concreto referência, tornando este traço um destino viável para a reciclagem do entulho de cerâmica, no uso para a confecção de concreto estrutural que exija um fck de 25Mpa.

O traço 3, aos 28 dias de idade, representado pela substituição de 25% da brita pelo residuo cerâmico apesar de não atingir a resistência à compressão esperado (25 Mpa), ainda atende a resistência exigida pela norma para concreto estrutural (20 Mpa), possuindo uma diferença de -21,77% se comparado com o concreto referência, podendo então ser aplicado em concreto estrutural com fck de 20 Mpa, tornando possível o descarte do entulho de cerâmica na confecção deste concreto.

Nota-se que o traço 4, com o uso de 50% de substituição do agregado gráudo natural pelo material cerâmico não alcançou a resistência à compressão exigido pela norma de concreto estrutural (20 Mpa), tornando inadequado o uso do material cerâmico na confecção deste concreto para afim estrutural. Porém este traço poderia ser utilizado em obras que não exijam altas resistência à compressão, ou seja, em concretos não estruturais, como por exemplo, concreto para calçada.

Os resultados desse trabalho podem ser útil para quem procura realizar uma execução de uma obra sustentável, dando um destino correto para entulhos de cerâmica na incorporação no concreto estrutural, Utilizando os traços de 5% e 25% de substituição da brita por cerâmica.

## Referências

1. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Dados da Associação Nacional da Indústria Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/>>. Acesso em: 17 mar. 2010.
2. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS – ANICER. **Setor de revestimento cerâmico apresenta crescimento de 6,2% no 1º semestre do ano**. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/site/?idConteudo=2298>>. Acesso em: 18 jun. 2015.
3. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Dados da Associação Nacional da Indústria Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/>>. Acesso em: 8 out. 2015.
4. CARELI, D. É. **A resolução Conama Nº 307/2002 e as novas condições para gestão dos resíduos de construção e demolição**. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2008.
5. PINTO, N. B. **Tecnologia cerâmica aplicada à produção de pisos e azulejos**. Centro de Instrução Profissional Octavia Gaidzinski, 1997.
6. DIAS, J. F. **Avaliação de agregados reciclados de resíduos de fabricação de telhas de cerâmica vermelha para seu uso em camadas de baixo custo**. 2004. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
7. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2002. p. 95-96.
8. CABRAL, A. E. B., MOREIRA, K. M. V. **Cartilha de gestão de entulho de obra**. Fortaleza: Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará, 2011.
9. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da construção**. Brasília, 2012. 160 p.
10. FONSECA, A. P. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo de telha cerâmica e agregado graúdo natural**. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
11. TRIGUEIRO, A. Empresas públicas e privadas faturam com a reciclagem de entulho. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2012/10/empresas-publicas-e-privadas-faturam-com-reciclagem-de-entulho.html>>. Acesso em: 20 ago. 2015.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
13. YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10. ed. Pini: SindusCon. São Paulo. 1998. 769 p
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento terminologia. Rio de Janeiro, 1997.
15. DINIZ, J. Z. F. Concreto: material construtivo mais consumido do mundo. **Revista Concreto**, 2009, p. 77.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo: ABCP, 2002.
17. PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211**: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.
19. KULAIF, Y. **Análise dos mercados de matérias-primas minerais**: estudo de caso da indústria de pedras britadas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2001.
20. BARDELLA, P. S., BARBOSA, D. C., CAMARINI, G. Sistemas de cura em concretos produzidos com cimento Portland de alto-forno com utilização de sílica ativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO. São Carlos. **Anais...** Campinas, 2005. p. 1-12.
21. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12025 MB-3361**: Solo-cimento – ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990.
22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738**: Concreto — procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2. ed. Rio de Janeiro, 2015.
23. LODI, P. C. **Mecânica dos solos**. 1. ed. Ilha Solteira: UNESP, 2007.
24. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10703**: Peneiras de ensaio – tela de tecido metálico, chapa metálica perfurada e lamina eletroformada – tamanhos nominais de abertura. Rio de Janeiro, 1997.
25. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
26. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento – determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 1984.
27. RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1995. 252 p.
28. PIMENTA, D. S. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.
29. WADA, P. H. **Estudo da incorporação de resíduos de cerâmica na composição de concreto para uso em estacas moldadas in Loco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.
30. OLIVEIRA, P. H. M. Influência da adição de resíduo cerâmico nas propriedades mecânicas do concreto. 2014. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2014.