

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

Derlon Silva Nunes

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO, COM  
CINZA DA CASCA DO CAFÉ**

Piumhi - MG

2020

Derlon Silva Nunes

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO, COM  
CINZA DA CASCA DO CAFÉ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Avançado Piumhi para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Me. Thiago Pastre Pereira

Piumhi - MG

2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

N972a Nunes, Derlon Silva.

Análise da resistência à compressão axial do concreto, com cinza da casca do café. / Derlon Silva Nunes. – 2020.  
68 f.

Orientador: Thiago Pastre Pereira.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Avançado Piumhi, 2020.

1. Concreto – resíduo de café. 2. Concreto – materiais alternativos. 3. Concreto – produção e ensaios. I. Título.

CDD 620.1

Ficha elaborada pela bibliotecária Andreia Cristina Damasceno - CRB6/1974

**DERLON SILVA NUNES****ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO, COM CINZA DA CASCA DO CAFÉ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Avançado Piumhi para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 17 / 12 / 2020 pela banca examinadora:

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado eletronicamente por **Thiago Pastre Pereira, Professor**, em 19/01/2021, às 11:17, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Tobias Ribeiro Ferreira, Professor**, em 19/01/2021, às 11:32, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Junior Henrique Canaval, Professor**, em 19/01/2021, às 13:54, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Humberto Coelho de Melo, Professor**, em 19/01/2021, às 15:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Stella Maria Gomes Tome, Professora**, em 19/01/2021, às 16:30, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **0733586** e o código CRC **B39EE5D4**.

23715.000360/2020-11

0733586v1

## **AGRADECIMENTOS**

Aproveito este pequeno espaço para saudar calorosamente meu pai Ely Clemente Ferreira Nunes, por todo suporte e incentivo que recebi durante toda a jornada da graduação e minhas irmãs que sempre me apoiaram em minhas decisões. Agradeço todo apoio e carinho que recebi da minha noiva, Fabiana Martins Leite, que sempre me inspira e me faz querer ser melhor a cada dia.

Aos meus professores (mesmo os que não foram professores de alguma das disciplinas que cursei, mas que, de alguma forma, contribuíram com seus conhecimentos e experiências) e ao meu orientador Me. Thiago Pastre Pereira, agradeço todo o apoio, conhecimento e amizade.

Aos participantes da banca por terem aceitado o convite.

À direção, aos colegas e aos zeladores, por buscarem sempre o destaque do Instituto e proporcionarem um ambiente adequado para a capacitação dos seus alunos.

## RESUMO

A busca por métodos alternativos na construção civil, que visa a diminuição do consumo de materiais finitos e menos impactos negativos ao meio ambiente, está cada vez mais presentes nas atividades de campo e, a cada dia, várias pesquisas são desenvolvidas com esse intuito. A fim de contribuir para uma economia sustentável e que gere menos impactos ambientais, este trabalho propõe a determinação de um traço através de pesquisa laboratorial, a partir do concreto, substituindo parte do cimento (em massa) por cinzas da casca de café queimado. Várias pesquisas com outros materiais alternativos como cinza da casca de arroz, borracha de pneu e resíduo de construção e demolição, trouxeram resultados satisfatórios no desempenho físico do concreto. A partir desse conceito, foi determinado um traço de referência para o concreto; no entanto, devido à dificuldade em obter a cinza da casca de café, foi realizada a confecção de corpos de prova de argamassa (dos quais foi extraído o agregado graúdo do traço adotado para obter a “argamassa”) para verificar a melhor porcentagem de resíduo a ser utilizada na confecção dos corpos de provas de concreto, evitando, assim, desperdícios de materiais. A partir dos resultados obtidos no ensaio de compressão axial da argamassa, observou-se que com 5 % de substituição do cimento por cinza, houve uma diminuição considerável na resistência axial. Com isso, foi determinado que, no concreto, seria analisada a utilização de 2 % e 5 % de cinza em relação ao cimento. No entanto, através dos ensaios de compressão axial e diametral, foi possível observar que as cinzas não apresentaram nenhuma melhora na resistência do concreto, portanto, não apresentando o mesmo comportamento da cinza da casca de arroz no concreto. Ao que tudo indica pelos resultados obtidos neste trabalho, a cinza teve influência tal como os vazios, assim, diminuindo a resistência de forma significativa.

Palavras-chave: Concreto. Concreto com resíduo. Cimento. Materiais alternativos no concreto. Resíduo de café.

## ABSTRACT

The search for alternative methods in civil construction, that aims the decrease in consumption of finite materials and less negative impacts to the environment is increasingly present in field activities and, everyday, several researches are developed for this purpose. In order to contribute to a sustainable economy, that generates less environmental impact, this work proposes the determination of a trait, through laboratory reseach, from concrete, replacing part of the cement (in mass) with burnt coffee husk. A lot of researches with other alternative materials, like ashes made from rice husk, tire rubber and residue obtained from construction and demolition brought satisfactory results to the physical performance of concrete. Based on this concept, a reference trait was determined for the concrete; however, due to the difficulty to obtain the coffee husk ashes, mortar specimens were made (from which it was extracted the coarse aggregate of the adopted trait to obtain the “mortar”) to verify the best percentage of residue to be used in making concrete specimens, thus avoiding waste of materials. From the results obtained in the mortar axial compression test, it was observed that, with a 5 % replacement from cement to ashes, there was a considerable decrease in the axial endurance. Therewith, it was determined that, it would be analyzed 2 % and 5 % replacements of ashes with respect to cement. However, through axial compression and diametral tests, it was possible to notice that the ashes showed no improvement in the strength of the concrete, therefore, not showing the same behavior as rice husk ashes in the concrete. Based in the results obtained in this work, it seems that the ash had influence such as the voids, thus, decreasing the endurance significantly.

Keywords: Concrete. Concrete with residue. Cement. Alternative materials in concrete. Coffee residue.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de dosagem .....	23
Figura 2 - Colheita manual .....	32
Figura 3 - Colheita por derriça .....	33
Figura 4 - Processos pós-colheita dos grãos de café pelas vias seca e úmida .....	34
Figura 5 - Traço de referência para a argamassa .....	41
Figura 6 - Traço de referência para o concreto.....	42
Figura 7 - Índice de consistência da argamassa.....	43
Figura 8 - Procedimentos para a realização do <i>Slump Test</i> .....	43
Figura 9 - Tanque de cura.....	44
Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão axial do concreto.....	45
Figura 11 - Compressão diametral .....	45
Figura 12 - Índice de consistência da argamassa.....	47

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção total de café (arábica e conilon).....	32
Gráfico 2 - Resistência à compressão axial da argamassa.....	49
Gráfico 3 - Resistência à compressão axial.....	51
Gráfico 4 - Resistência à compressão diametral.....	52

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Resíduo <i>in natura</i> (a) e Cinza da casca de café (b) .....	37
Imagem 2- Ensaio de Granulometria.....	39
Imagem 3 - Obtenção da constância de massa em estufa (a); Submersão da amostra (b); Secagem superficial (c) .....	40
Imagem 4 - Processo de queima.....	40
Imagem 5- Ensaio de abatimento do concreto referência.....	50
Imagem 6- Processo de queima da casca de café .....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características e propriedades .....	19
Quadro 2 - Características especificadas para alguns tipos de cimento brasileiro .....	25
Quadro 3 - Características dos agregados.....	38
Quadro 4 - Levantamento de material para a argamassa referência e com 5% de cinza.....	47
Quadro 5 - Levantamento de material para o concreto referência, 2% e 5% de cinza.....	47
Quadro 6 - Ensaio de compressão axial: Argamassa.....	48
Quadro 7 - Ensaio de compressão axial e diametral .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Peso específico aparente.....	29
Tabela 2 - Valores médios da resistência à compressão do tijolo solo-cimento em MPa.....	35
Tabela 3 - Cinza da casca de café.....	46
Tabela 4 - Teor de umidade dos agregados .....	49
Tabela 5 - Ensaio de abatimento .....	50

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
3.1	CONCRETO .....	18
3.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO .....	18
3.2.1	Trabalhabilidade.....	18
3.2.2	Consistência .....	18
3.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO.....	19
3.3.1	Características e propriedades.....	19
3.3.2	Densidade.....	20
3.4	PREPARO DO CONCRETO .....	21
3.4.1	Mistura mecânica .....	21
3.4.2	Tempo de mistura.....	21
3.4.3	Método de dosagem .....	22
3.5	CURA DO CONCRETO .....	24
3.6	MATERIAIS E SUA INFLUÊNCIA NO CONCRETO .....	24
3.6.1	Cimento <i>Portland</i> .....	24
3.6.2	Classificação .....	24
3.6.3	Agregados .....	28
3.7	MATERIAIS ALTERNATIVOS (RESÍDUOS) .....	30
3.7.1	Classificação .....	30
3.7.2	Resíduo da cinza da casca de arroz.....	31
3.8	CINZAS DA CASCA DE CAFÉ NO CONCRETO .....	31
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
4.1	MATERIAIS .....	37
4.1.1	Aglomerantes .....	37
4.1.2	Material alternativo .....	37
4.1.3	Água de amassamento.....	37
4.1.4	Agregados .....	37
4.2	MÉTODOS .....	38

4.2.1	Etapa 1: Produção e classificação dos materiais .....	38
4.2.2	Etapa 2: Determinação do traço e confecção dos corpos de prova .....	41
4.2.3	Etapa 3: Ensaios .....	42
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>
5.1.1	Etapa 1: Produção e classificação dos materiais .....	46
5.1.2	Etapa 2: Determinação do traço e confecção dos corpos de prova .....	46
5.1.3	Etapa 3: Ensaios .....	47
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A – QUADRO DE IMAGENS: CONFECÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA .....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE B – QUADRO DE IMAGENS: CONFECÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é muito importante para o desenvolvimento econômico e social de um país. Proporciona moradias melhores, acesso ao saneamento básico, à energia, às telecomunicações e aos transportes, mostrando seu valor para o crescimento do produto interno bruto (PIB), que é um dos indicadores do crescimento econômico de um país (IBGE, 2020).

No entanto, as atividades desenvolvidas pela construção civil geram impactos ambientais. Em especial, no processo de produção do cimento e dos agregados, observam-se alguns impactos ambientais negativos, como a mudança da topografia do local de extração; emissão de gases na atmosfera; a contaminação de recursos hídricos por alguns minerais; entre outros.

Devido aos impactos ambientais que o aumento do consumo de concreto pode proporcionar, vários pesquisadores têm por objetivo diminuí-los, a partir de novas tecnologias e maneiras de agregar valor aos resíduos, melhorando o desempenho do concreto e reduzindo o desperdício de materiais.

Como exemplo, a utilização da cinza da casca de arroz em substituição parcial do cimento, melhorando a resistência a compressão do concreto, contribuindo com a diminuição do descarte dos resíduos de arroz e cana-de-açúcar. Com isso, ao mesmo tempo que agrega valor ao resíduo, diminui o consumo de cimento (JUNIOR *et al*, 2019).

Outro exemplo para agregar valor aos resíduos e diminuir o consumo de agregados, seria a utilização do resíduo de borracha de pneus. Pontes & Araújo (2018) observou que na substituição parcial da areia pela borracha proveniente de pneus descartados, os valores de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto apresentaram uma leve diminuição de resistência quando incorporou 10% do resíduo de borracha, e uma redução insignificante quando foi substituído 20% do agregado miúdo pelo agregado do pneu.

Ainda segundo Marques (2019); Pontes & Araújo (2018), analisando os dois tipos de concreto (com e sem resíduo), pode-se notar que o concreto de borracha de pneu demonstrava uma capacidade técnica satisfatória para seu emprego.

Comparando a resistência à fadiga, o concreto sem borracha apresenta um número de ciclos maiores comparados com o concreto com borracha para menor relação de tensão. Todavia, com o aumento dos níveis de relação de tensões, o concreto com borracha apresentou resultados melhores, revelando, portanto, que esse resíduo melhora a capacidade de deformação antes da ruptura (SILVEIRA *et al*, 2016).

Além das alternativas apresentadas acima, pode-se utilizar resíduos de construção e demolição (RCD's) no concreto, contribuindo para a diminuição dos resíduos encaminhados para aterros, lixões a céu aberto, terrenos baldios e no consumo de agregados. Esse resíduo pode ser proveniente da fase de construção por perdas nos processos construtivos; da fase de manutenção e reformas ou ainda; da demolição de edifícios (JOHN & AGOPYAN, 2000).

Embora, esses resíduos causem diminuição da resistência à compressão do concreto, pode ser viável sua utilização para fins não estruturais, tomando-se o cuidado de retirar materiais indesejáveis ou contaminantes, tais como madeiras, telhas de amianto, lâmpadas contendo metais pesados, entre outros (ANGULO & FIGUEIREDO, 2011).

Por ser um material extremamente heterogêneo, esse resíduo influencia de modo diversificado na resistência à compressão do concreto, já que materiais como vidro e madeira, contribuem para a diminuição da resistência, por aumentar a quantidade de vazios. Já os resíduos de concreto podem melhorar a resistência à compressão devido à capacidade de suportar carga (PEDERNEIRAS, 2017).

De acordo com John & Agopyan (2000), RCD's eles podem ser utilizados como agregados em peças de meio fio ou blocos de alvenaria rudimentar. Embora no Brasil não exista tecnologia de controle de qualidade sistemática, seu uso é considerado tecnicamente e ecologicamente viável.

Pederneiras (2017) afirma que o tipo de agregado reciclado afeta significativamente nas propriedades mecânicas do concreto, sendo indicado a substituição apenas do agregado miúdo por agregado proveniente do resíduo de construção e demolição (RCD).

A confecção do concreto com resíduo, pode ser realizada de acordo com a sua utilização. Para isso, é verificado se é necessária maior resistência à compressão, maior flexibilidade, menor peso ou melhor trabalhabilidade, fazendo uso de materiais alternativos, que contribuem para a preservação do meio ambiente e para a melhoria nas propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto.

Sabe-se que uma das características mais importantes na fabricação de um concreto com resíduo é sua resistência à compressão, pois em geral, o concreto é dimensionado para suportar esses esforços. Portanto, esse seria o grande problema que o concreto com resíduo traz: manter ou aumentar a resistência à compressão do concreto utilizando a maior quantidade de resíduo.

Desse modo, a fim de contribuir para uma economia mais sustentável e que gere menores impactos negativos ao meio ambiente, este trabalho propôs a determinação de um traço de concreto, no qual substitui-se parte do cimento (em massa) por cinzas de casca de café

queimado, que seja viável sua utilização na construção civil. A análise da influência da cinza no concreto foi verificada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone e do ensaio de compressão axial, os quais permitiram verificar o melhor traço para uma boa trabalhabilidade e a resistência para o maior consumo da cinza da casca do café.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Estudar a influência da adição de cinzas da casca de café no comportamento do concreto, através de um traço de concreto estabelecido em laboratório.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar a consequência da inserção de resíduos de cinzas de casca de café no comportamento da consistência, resistência axial e diametral do concreto convencional, dosado pelo método ABCP.
- Reduzir o consumo de cimento no traço de concreto convencional, produzido em laboratório;
- Gerar um traço de concreto que possa ser utilizado na construção civil, tendo em sua constituição resíduos (cinzas da casca de café queimado) em substituição, parcial do cimento (aglomerante).

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 CONCRETO**

O concreto de cimento *Portland* é o material estrutural da construção civil mais importante da atualidade; a sua descoberta é datada no fim do século XIX a qual revolucionou a arte de projetar e construir estruturas (ISAIA, 2010). O concreto fresco é constituído por agregados graúdos e miúdos envolvidos por uma pasta de cimento (cimento e água) e espaços cheios de ar (BAUER, 2008).

#### **3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO**

##### **3.2.1 Trabalhabilidade**

Um concreto que pode ser adensado facilmente é considerado um concreto trabalhável, contudo, considerar a trabalhabilidade somente como a facilidade de lançamento e resistência à segregação é uma definição muito vaga para essa propriedade (NEVILLE, 2016).

A consistência é o mais importante dos fatores que influem na trabalhabilidade, a qual deve ter sua consistência adequada para determinadas situações. Vários estudos e métodos foram desenvolvidos, no entanto, são meramente comparativos, não medem diretamente as propriedades reológicas fundamentais do concreto fresco (BAUER, 2008).

Além da consistência, tipos de mistura, transporte, lançamento e adensamento, exige que a trabalhabilidade do concreto fique dentro de determinados limites para não ocorrer segregação e para que possa realizar uma conveniente compactação da matriz. Uma mistura manual ou mecanizada, um transporte de carro de mão ou bomba, um lançamento com pás ou calhas, entre outros meios, são de extrema importância para a determinação dessa trabalhabilidade ideal (BAUER, 2008).

Por fim, segundo Bauer (2008), dimensões das peças a moldar e o afastamento das armaduras, influenciam indiretamente, devido ao diâmetro máximo do agregado a ser utilizado para tais parâmetros.

##### **3.2.2 Consistência**

A consistência de um concreto fresco depende sobretudo de duas propriedades, a compacidade e a mobilidade. A compacidade pode ser definida como a propriedade do concreto que determina a quantidade de trabalho necessário à completa compactação, já a mobilidade, caracteriza-se pela propriedade inversamente proporcional à resistência interna à deformação,

sendo que essa última propriedade depende de três características do concreto fresco – ângulo de atrito interno, coesão e viscosidade (BAUER, 2008).

### Fatores que afetam a consistência

Dentre vários fatores que influenciam na consistência, o teor de umidade sem dúvida é o principal, outros fatores que podem influenciar são o tempo de pega, temperatura, aditivos, granulometria e forma dos grãos do agregado. De modo geral, os agregados graúdos e miúdos devem ser uniformemente graduados, e ainda é aconselhável que não haja predominância de determinada fração sobre a outra, quanto à forma dos grãos. Os grãos arredondados possibilitam mais plasticidade para o mesmo teor de água/mistura seca do que os grãos angulares, lamelares ou aciculares, pois o grão arredondado possibilita menor porcentagem de vazios no concreto (BAUER, 2008).

## 3.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

### 3.3.1 Características e propriedades

As características e propriedades do concreto endurecido são apresentadas no Quadro 1, o qual representa as características de concretos ordinários de cimento *Portland* artificial e agregados correntes.

Quadro 1 - Características e propriedades

Características e Propriedades	Números típicos		Aspectos e Relações
	Variação		
Densidade	2,2 t/m <sup>3</sup> c. comum	0,3 a 5,5 t/m <sup>3</sup>	Conc. Leves-isolamento. Térmico Conc. pesados-blindagem Radioatividade
Atrito	0,3 c./água	0,3 a 0,6	Pavimentos, tubulações
Absorção			Aparência Durabilidade-oxidação
Permeabilidade dos líquidos		1 a $2 \cdot 10^{-4}$ l/m <sup>2</sup> h	Impermeabilização Durabilidade-corrosão
Permeabilidade dos gases			Durabilidade-oxidação
Calor específico		0,20 a 0,25 kcal/kg.°C	Aquecimento na cura
Dilatação térmica	10 x	7,4 a $13 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$	Fissuramento térmico Juntas de dilatação

Condutibilidade térmica	1,5	0,2 a 1,5 kcal/m, h, °C	Cálculos estatísticos Aquecimento na cura
Condutibilidade do som	4.000	2.500 a 4.500 m/s	Ensaio não destrutivo
Condutibilidade elétrica		104 a 107 ohm/cm	Corrosão eletroquímica
Adesão			Restauração
Absorção de som			Insonorização
Transmissão de som			Insonorização
Absorção de radioatividade			Proteção contra radiações
Resistência ao fogo		Até 300 °C	Sobrevivência a sinistros
Deformação elástica	E – 200.000 a 450.000 kgf/cm <sup>2</sup>		Cálculos estruturais
Deformação plástica			Cálculos estruturais
Deformação lenta			Aparência das estruturas Cálculos estruturais
Ruptura			Ensaio
Resistência a ação dos agentes clima, águas puras, carbônicos, mar etc.			Durabilidade
Resistência aos agentes químicos			Durabilidade
Reação álcali-agregados			Durabilidade
Corrosão das armaduras			Durabilidade
Aderência			Segurança, Fissuramento
Fissuramento			Permeabilidade Durabilidade

Fonte: Adaptado de BAUER, 2008.

### 3.3.2 Densidade

De acordo com Bauer (2008), a densidade dos concretos comuns com agregados normais, varia de acordo com o processo de adensamento utilizado na sua fabricação, sofrendo também influência do meio ambiente em que são mantidos em razão da proporção de água contida nos seus poros, sendo os seguintes valores:

- a) Concreto não adensado: 21 kN/m<sup>3</sup>;
- b) Concreto comprimido: 22 kN/m<sup>3</sup>;
- c) Concreto socado: 22,5 kN/m<sup>3</sup>;
- d) Concreto vibrado: 23 a 24 kN/m<sup>3</sup>;

### 3.4 PREPARO DO CONCRETO

Segundo a ABNT NBR 12655 (2015), as etapas de preparo do concreto são as seguintes:

- Caracterização dos materiais da mistura;
- Estudo de dosagem do concreto;
- Ajustes e comprovação do traço de concreto;
- Elaboração do concreto.

Sendo de extrema importância que os ingredientes do concreto sejam misturados adequadamente, para produzir um concreto fresco, em que todas as partículas dos agregados sejam revestidas pela pasta de cimento e possuam propriedades uniformes. A mistura é praticamente realizada por meios mecânicos (NEVILLE, 2016).

#### 3.4.1 Mistura mecânica

Obtida em máquinas especiais, constituídas de uma cuba ou tambor, fixa ou móvel em torno de um eixo, podendo ser vertical, horizontal ou inclinado.

Bauer (2008) classifica as betoneiras de acordo com o processo de mistura em:

- a) Betoneira de queda livre ou gravidade: Produz a mistura através de movimento, onde as pás internas da cuba ou tambor, levam o material para a parte superior e de lá deixam cair pela gravidade ou queda livre, assim, obtendo a homogeneização da mistura;
- b) Betoneira de mistura forçada: Produz a mistura pelo movimento da cuba e/ou das pás, que se movimentam de maneira que arraste todo o material, forçando um contato rápido e completo.

#### 3.4.2 Tempo de mistura

É importante conhecer o tempo de mistura necessário para a produção do concreto de composição uniforme e de resistência adequada. Esse tempo varia conforme o tipo de betoneira e, não é o tempo de mistura que define sua qualidade, mas o número de rotações da betoneira. Em geral, 20 rotações são adequadas (NEVILLE, 2016).

Contudo, ABNT NBR 12655 (2015), cita que concretos produzidos em betoneiras estacionárias deve-se obedecer às recomendações do fabricante do equipamento. Já em misturas

realizadas em centrais misturadoras e caminhões-betoneira, deve-se obedecer às recomendações da ABNT NBR 7212 (2012).

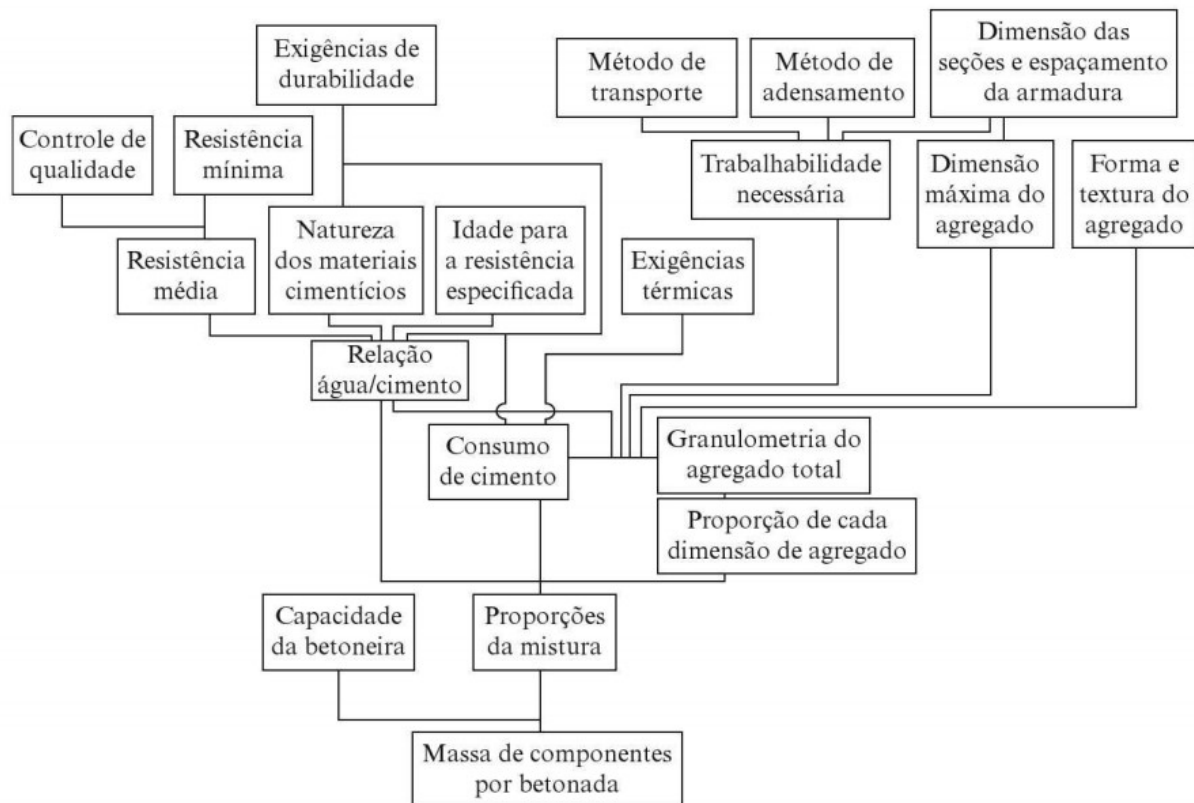
Quanto à ordem de colocação dos materiais na betoneira, não há regras, contudo, recomenda-se acrescentar uma pequena quantidade de água em primeiro lugar e, em seguida, o agregado graúdo. Logo após a adição do agregado graúdo, inserir todo o cimento para haver uma boa distribuição de água para cada partícula de cimento e por fim acrescentar o agregado miúdo, que faz o tamponamento nos materiais já colocados (BAUER, 2008).

### **3.4.3 Método de dosagem**

A dosagem é um processo de seleção de componentes para a confecção do concreto, que seja o mais econômico possível, que atenda as propriedades mínimas para sua utilização (resistência, durabilidade e consistência). É aconselhável evitar o elevado consumo de cimento, já que ele, em muitas vezes, é mais caro que os agregados; além de obter vantagens técnicas, como a diminuição do calor de hidratação, que pode causar fissuração ou diminuir a ocorrência de uma retração elevada devido ao alto consumo de cimento (NEVILLE, 2016).

Para obter uma mistura satisfatória, que atenda as questões econômicas e propriedades mínimas de utilização, deve-se atentar ao uso de materiais adequados, disponibilidade de materiais, métodos a serem utilizados para o seu lançamento, trabalhabilidade, método de confecção, entre outras especificações. Na Figura 1 são apresentados os fatores básicos a serem levados em consideração nesse processo, assim, obtendo concreto de qualidade e mais econômico possível (NEVILLE, 2016).

Figura 1 - Processo de dosagem



Fonte: NEVILLE, 2016.

No intuito de desenvolver um método simples e eficiente de dosagem, a Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP) desenvolveu o método de dosagem ABCP, partindo de ajustes e aperfeiçoamentos da dosagem racional proposto pelo *American Concrete Institute*, de maneira que atenda às condições brasileiras, o qual, basicamente, manteve apenas a base de cálculo. Esse método é apresentado em três etapas, sendo a primeira a caracterização dos materiais; a resistência do cimento aos 28 dias; dimensão máxima, massa unitária e absorção dos agregados miúdos; módulo de finura e massa específica dos materiais (RODRIGUES, 1983).

Na segunda etapa, são fixadas as características do concreto no estado fresco, plasticidade, resistência mecânica e química. A terceira e última etapa consiste no método de dosagem propriamente dito que possui cinco etapas; sendo a primeira a fixação da relação água/cimento, a segunda etapa a determinação do consumo de cimento em função do diâmetro máximo do agregado graúdo e abatimento do tronco de cone, a terceira etapa consiste na determinação do consumo de cimento, a quarta e quinta etapa estão relacionadas ao levantamento do consumo de agregado graúdo e miúdo (RODRIGUES, 1983).

### 3.5 CURA DO CONCRETO

A cura do concreto tem sua importância preponderante nas características de resistência, sua cura submersa em água permite a formação de gel na parte do cimento, tornando-o mais resistente e impermeável (BAUER, 2008).

Segundo Bauer (2008), para obter um concreto impermeável, além de adotar baixo fator água/cimento, é de extrema importância a proteção contra a evaporação logo após o lançamento. Sendo assim, quanto maior a relação água/cimento, maior será a necessidade de uma cura por mais tempo.

Além da importância da cura nas características já citadas acima, a cura em água também reduz a retração do concreto nas primeiras idades, uma vez que ele apresenta baixa resistência, dessa forma é possível evitar fissuras de retração. Outro método de cura que pode ser empregado é a aplicação de produtos químicos especiais (BAUER, 2008).

### 3.6 MATERIAIS E SUA INFLUÊNCIA NO CONCRETO

#### 3.6.1 Cimento *Portland*

O nome “cimento *Portland*” foi atribuído originalmente devido à semelhança, em cor e qualidade, do cimento endurecido com a pedra de *Portland* (calcário extraído em *Dorset*), esse cimento é o produto resultante da pulverização de clínquer constituído basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio. O clínquer é um produto granular, devido à calcinação de material calcário, conduzidas até a temperatura de fusão (cerca de 1.450 °C) em grandes fornos rotativos. Após o resfriamento, o clínquer recebe uma adição de um pequeno teor de sulfato de cálcio, sendo moído até se tornar um pó bastante fino, resultando no cimento *Portland* (BAUER, 2008; NEVILLE, 2016).

#### 3.6.2 Classificação

No Brasil, são produzidos vários tipos de cimento normalizados, os quais podemos citar:

- a) Cimento Portland comum: CP I (Sem adição), CP I – S (Com adição);
- b) Cimento *Portland* de alto forno: CP III;
- c) Cimento *Portland* pozolânico: CP IV.
- d) Cimento *Portland* de alta resistência inicial: CP V – ARI;

No Quadro 2 são apresentados alguns tipos de cimento e suas características.

Quadro 2 - Características especificadas para alguns tipos de cimento brasileiro

Tipo Propriedades	Classe	MgO <sup>1</sup> máx. (% de massa)	Perda ao fogo (%)	Finura	Tempo mín. de pega, <i>Vicat</i> (min)	Res. mín. argamassa (MPa)			
				Resíduo na peneira 75 µm (%)		01 dia	03 dias	07 dias	28 dias
CP I	25	≤ 6,5	≤ 4,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 6,5	≤ 4,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	≤ 6,5	≤ 4,5	≤ 10,0	≥ 60	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP I – S	25	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 10,0	≥ 60	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP II – E	25	-	≤ 8,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	-	≤ 8,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	-	≤ 8,5	≤ 10,0	≥ 60	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP II – F	25	-	≤ 12,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	-	≤ 12,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	-	≤ 12,5	≤ 10,0	≥ 60	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP II – Z	25	-	≤ 8,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	-	≤ 8,5	≤ 12,0	≥ 60	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0

---

<sup>1</sup> Óxido de Magnésio.

	<b>40</b>	-	$\leq 8,5$	$\leq 10,0$	$\geq 60$	-	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	$\geq 40,0$
<b>CP III</b>	<b>25</b>	-	$\leq 6,5$	$\leq 8,0$	$\geq 60$	-	$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$
	<b>32</b>	-	$\leq 6,5$	$\leq 8,0$	$\geq 60$	-	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$
	<b>40</b>	-	$\leq 6,5$	$\leq 8,0$	$\geq 60$	-	$\geq 12,0$	$\geq 25,0$	$\geq 40,0$
<b>CP IV</b>	<b>25</b>	-	$\leq 6,5$	$\leq 8,0$	$\geq 60$	-	$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$
	<b>32</b>	-	$\leq 6,5$	$\leq 8,0$	$\geq 60$	-	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$
	<b>40</b>	-	$\leq 6,5$	$\leq 8,0$	$\geq 60$	-	$\geq 12,0$	$\geq 25,0$	$\geq 40,0$
<b>CP V</b>	<b>ARI</b>	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$	$\leq 6,0$	$\geq 60$	$\geq 14,0$	$\geq 24,0$	$\geq 34,0$	-
<b>CPB ESTRUTURAL</b>	<b>25</b>	$\leq 6,5$	$\leq 12,0$	$\leq 12,0^b$	$\geq 60$	-	$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$
	<b>32</b>	$\leq 6,5$	$\leq 12,0$	$\leq 12,0^b$	$\geq 60$	-	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$
	<b>40</b>	$\leq 6,5$	$\leq 12,0$	$\leq 12,0^b$	$\geq 60$	-	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	$\geq 40,0$
<b>CPB NÃO ESTRUTURAL</b>	-	$\leq 10,0$	$\leq 27,0$	$\leq 12,0^b$	$\geq 60$	-	$\geq 5,0$	$\geq 7,0$	$\geq 10,0$
<sup>b</sup> Resíduo na peneira <b>45 µm</b> .									

Fonte: Adaptado de: ABNT NBR 16697: 2018.

Esses diferentes tipos de cimento como foi referido acima, possuem composições e classes de resistência diferentes, sendo indicado o uso conforme descrito a seguir (HAGEMANN, 2011):

- a) cimento tipo I (CP I): conhecido também como Cimento *Portland* comum, é composto em sua maioria por clínquer, com uma pequena adição de gesso (cerca de 5 % que age como retardador de pega), podendo receber pequenas quantidades de material pozolânico (1 - 5 %), assim, denominado, CP I-S. Esse tipo de cimento possui 3 classes de resistência, 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa, indicado para construções que não necessitam de condições especiais e não apresentam exposição a agentes agressivos, como água subterrânea, esgoto, água do mar e presença de sulfatos;
- b) cimento tipo II (CP II): esse tipo de cimento recebe a adição de materiais de baixo custo (escória, material pozolânico e filer), conferindo propriedades especiais ao cimento, sendo fabricado com 3 classes de resistência, 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa. O cimento CPII com adição de escória (6 a 34 %) é denominado CP II-E, conferindo baixo calor de hidratação ao cimento, recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento e possam ser atacados por sulfatos. Já o cimento CPII com adição de material pozolânico (6 a 14 %) é denominado CP II-Z, conferindo menor permeabilidade à pasta onde são aplicados, sendo seu uso recomendado para obras subterrâneas, marítimas e com presença de água, pré-moldados e concreto protendido. Por fim, o cimento CPII com adição de material carbonático (conhecido como filer em proporções de 6 a 10 %) é denominado CP II-F, recomendado para obras de concreto armado, argamassa de assentamento e revestimento, pisos e pavimentos, todos em meio não-agressivo;
- c) cimento tipo III (CP III): conhecido também como cimento *Portland* de alto-forno, sendo fabricado com 3 classes de resistência, 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa, caracterizado por conter adição de escória em teores que variam de 35 % a 70 %. Esse tipo de cimento confere maior impermeabilidade, calor de hidratação, durabilidade e maior resistência a sulfatos. Recomendadas a obras de grande porte e sujeitas a condições de alta agressividade;
- d) cimento tipo IV (CP IV): também conhecido como cimento *Portland* pozolânico, possui adição de pozolana em teores que variam de 15 % a 50 %,

sendo fabricado com três classes de resistência, 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa, conferindo alta impermeabilidade e durabilidade às misturas em que são empregadas. Recomenda-se sua utilização em ambientes expostos a ação de água corrente e ambientes agressivos;

- e) cimento tipo V (CP V – ARI): esse tipo de cimento confere alta resistência inicial nas primeiras idades do concreto, o cimento de alta resistência inicial (ARI) não possui nenhuma adição especial. Sua utilização é indicada para obras em que seja necessária a desforma rápida do concreto, confecção de peças pré-moldadas, postes, entre outros. Sua resistência ao longo da sua idade é apresentada no Quadro 2;
- f) cimento resistente a sulfatos (RS): todos os cimentos apresentados podem ser resistentes a sulfatos, desde que se enquadrem em alguns requisitos como teor do componente químico C3A do clínquer inferior a 8% e teor de adições carbonáticas de no máximo 5 %. Cimentos de alto-forno são resistentes a sulfatos quando contiverem entre 60 % a 70 % de escória granulada em massa e os cimentos pozolânicos, quando contiverem entre 25 % e 40 % de material pozolânico em massa. O uso do cimento resistente a sulfatos é recomendado para redes de esgoto de águas servidas ou industriais, água do mar e alguns tipos de solos;
- g) cimento branco (CPB): apresenta coloração branca devido à utilização de caulim no lugar da argila em sua fabricação (possuem baixos teores de ferro e manganês). O CPB pode ser estrutural ou não-estrutural. Em estruturas, é empregado para fins arquitetônicos devido à sua coloração. Já o CPB não-estrutural é utilizado para rejuntamento de azulejos e aplicações não estruturais, contudo, em ambos os casos pode-se associar ao cimento, pigmentos a fim de resultar nos concretos coloridos. Esse cimento é fabricado nas resistências de 25MPa, 32 MPa e 40 MPa.

### 3.6.3 Agregados

Conforme destacado por Bauer (2008), o agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído da mistura de partículas de diversos tamanhos. O agregado tem papel importante na qualidade do concreto, podendo afetar significativamente a durabilidade e o desempenho do concreto, contudo, responsável por 3/4 do volume do concreto (NEVILLE, 2016).

Os agregados podem ser classificados de acordo com a sua origem, dimensões das partículas e peso específico aparente. Os agregados, segundo sua origem, podem ser classificados como naturais (encontrados em forma particulada na natureza) e industrializados, já a classificação, segundo as dimensões das partículas, são divididos em miúdos e graúdos; por fim, a classificação, segundo seu peso específico aparente, são classificados em leves, médios e pesados, conforme Tabela 1 (BAUER, 2008).

Tabela 1 - Peso específico aparente

<b>Leves (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Médios (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pesados (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Vermiculita – 0,3	Calcário – 1,4	Barita – 2,9
Argila expandida – 0,8	Arenito – 1,45	Hematita – 3,2
Escória granulada – 1,0	Cascalho – 1,6	Magnetita – 3,3
	Granito – 1,5	
	Areia – 1,5 <sup>2</sup>	
	Basalto – 1,5	
	Escória – 1,7	

Fonte: BAUER, 2008.

### 3.6.3.1 Agregados industrializados

De acordo com a granulometria desses agregados (tamanho dos grãos), são classificados conforme apresentado por Bauer (2008):

- brita: agregado obtido através do processo industrial da cominuição ou fragmentação controlada de rocha maciça de depósitos geológicos – jazidas;
- pedra britada: brita produzida em cinco graduações de diâmetros médios – Pedrisco; pedra 1; pedra 2; pedra 3; pedra 4;
- pó de pedra: material mais fino que o pedrisco;
- areia de brita: agregado obtido dos finos resultantes da produção da brita, retirando granulometria inferior a 0,15 mm;
- fíler: agregado da mesma grandeza dos grãos do cimento.

Dentre as rochas mais comumente exploradas para a fabricação de agregados industriais estão o granito, basalto, gnaiss, calcário, arenito, escória de alto-forno, hematita entre outros (BAUER, 2008).

<sup>2</sup> Densidade aparente média da areia “seca ao ar”.

### 3.6.3.2 Agregados naturais

De acordo com Bauer (2008), areia é um sedimento clástico inconsolidado, de grãos em geral de quartzo, variando seu diâmetro entre 0,06 e 2,0 mm, considerado material de construção e classificado como agregado miúdo. As origens desse agregado provêm de rio, de cava (depósitos aluvionares em fundos de vales cobertos por capa de solo), de britagem (obtido no processo de classificação a seco nas peneiras), de escória, de praias e dunas.

## 3.7 MATERIAIS ALTERNATIVOS (RESÍDUOS)

Devido ao aumento da população humana, à concentração dessa população em centros urbanos, à forma e ao ritmo da ocupação desses espaços e ao modo de vida com base na produção e consumo, os problemas causados por resíduos tornam-se mais visíveis.

De acordo com a ABNT NBR 10.004 (2004), resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semissólido, de atividade industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de varrição e serviços.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos promove consequências graves, como a contaminação de lençol freático, contaminação do solo pela percolação dos líquidos gerados a partir do processo de degradação e decomposição da fração orgânica, além da proliferação de insetos, roedores transmissores de doenças, e presença de catadores onde os resíduos são depositados a céu aberto, (JUNKES<sup>3</sup>, 2002; ALCANTARA<sup>4</sup>, 2010) apud (SANTOS *et al*, 2014).

### 3.7.1 Classificação

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou qual o tipo de atividade de sua origem e quais os seus constituintes com listagem de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecida (ABNT NBR 10.004, 2004).

Pode-se classificar o resíduo sólido como:

- a) Resíduos Classe I – Perigosos;

---

<sup>3</sup> JUNKES, M. B. et al. **Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002;

<sup>4</sup> ALCANTARA, A. J. O. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e caracterização química do solo da área de disposição final do município de Cáceres-MT**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado do Mato Grosso, 2010.

- b) Resíduos Classe II – Não perigosos (sendo a classe II A – Não inertes e a classe II B – inertes).

### 3.7.2 Resíduo da cinza da casca de arroz

De acordo com os dados da *United States Department of Agriculture - USDA* apresentados pela Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2019a), a produção mundial de arroz base beneficiado (processos para obter o arroz branco para consumo) ficará em 501,57 milhões de toneladas na Safra 2018/19, sendo o Brasil responsável por 11 milhões de toneladas.

A casca de arroz é um resíduo industrial em países produtores de arroz, essa casca é produzida durante o refinamento (beneficiamento) (GONÇALVES, 2009). Contudo, vários estudos são realizados para o desenvolvimento de novas tecnologias utilizando esse resíduo.

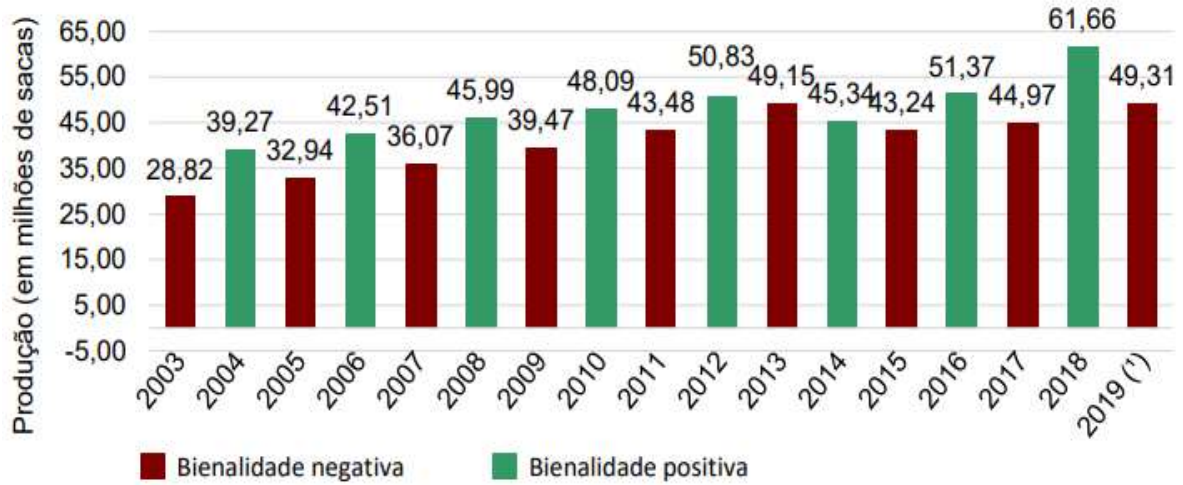
Rodrigues (2008) observou na caracterização química da cinza da casca de arroz, cerca de 96,1 % da cinza era composto por silício ( $2SiO_2$ ). Analisando o desempenho de concretos com substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz, Junior *et al* (2019), observou que as cinzas contribuíram para a melhoria tanto nas propriedades mecânicas como nas propriedades físicas.

Dentre as propriedades mecânicas, o concreto com adição de 5 % de cinza apresentou um ganho na resistência à compressão de 4,84 % em relação ao traço de referência, já em relação ao módulo de elasticidade, constatou-se que não houve interferência nessa propriedade. Para as características físicas, o concreto com cinza de casca de arroz apresentou uma redução na taxa de absorção de água (JUNIOR *et al*, 2019).

## 3.8 CINZAS DA CASCA DE CAFÉ NO CONCRETO

Segundo Conab (2019b), estima-se que a produção de café na safra de 2019 (café arábica e conilon), foi cerca de 49,31 milhões de sacas beneficiado, porém, se comparado com o ano de 2018, representa diminuição de 20 %. O Gráfico 1 apresenta a produção de café desde 2003. Atualmente, a região sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo) são responsáveis por 85,3 % de toda a produção de café (arábico e conilon) do país, sendo Minas Gerais responsável por aproximadamente 49,8 % dessa produção.

Gráfico 1 - Produção total de café (arábica e conilon)



Fonte: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2019.

A colheita dos grãos de café é realizada de duas maneiras:

- Manualmente (Figura 2): que proporciona uma bebida de melhor qualidade, pois assim, são colhidos apenas os grãos maduros.

Figura 2 - Colheita manual



Fonte: ALVES, 2015.

- Colheita por derriça (Figura 3): que consiste na retirada dos grãos com galhos, obtendo-se grãos maduros e verdes.

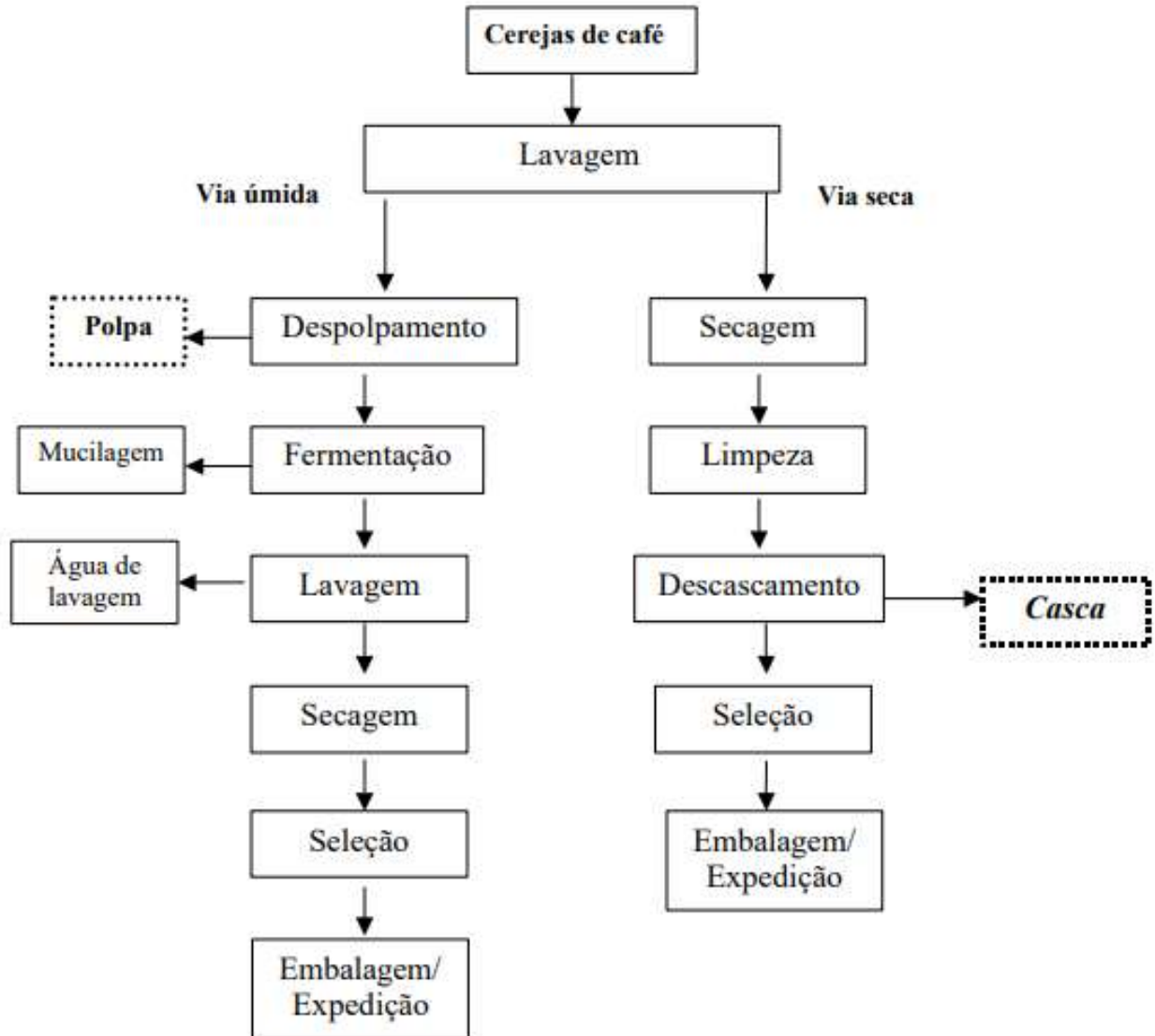
Figura 3 - Colheita por derriça



Fonte: <https://attaleadigital.com.br/wp-content/uploads/2019/02/derri%C3%A7ador-SP-20-STIHL-b.jpg>.

Após a colheita dos grãos, há diversas operações a serem realizadas, podendo ser realizadas por via úmida ou via seca, conforme apresentado na Figura 4, (SOCCOL, 2002).

Figura 4 - Processos pós-colheita dos grãos de café pelas vias seca e úmida



Fonte: SOCCOL, 2002.

Após a realização dos processos pós-colheita, deve-se realizar a torrefação dos grãos de café para, posteriormente, realizar a sua moagem e obter o pó de café. De acordo com Silvetz & Desrosier<sup>5</sup> (1979) *apud* Campos (2016), o processo de torrefação é caracterizado por um processo exotérmico de pirólise, que resulta na modificação da composição química dos grãos devido à liberação de grandes quantidades de gás carbono, essa etapa inicia quando o grão atinge 150 °C. A coloração dos grãos passa de marrom claro a escuro, devido à caramelização de açúcares e a reação química devido à presença de aminoácidos e sacaros (reação conhecida como “Reações de Maillard”).

<sup>5</sup> SILVETZ, M.; DESROSIER, N.W. Coffee technology. AI Publishing Company, Westport, Connecticut, p.716, 1979;

No estudo de caso desenvolvido por Rosa *et al* (2017), observaram que no processo industrial de torrefação da empresa analisada, era gerado um resíduo sólido, uma película que desprendia do grão de café, e ficava retida no compartimento do próprio torrador. Esse resíduo sólido gerado era utilizado junto à lenha para alimentar a fornalha, contudo a cinza proveniente da fornalha era ensacada e encaminhada para o lixo municipal.

Segundo Kiehl<sup>6</sup> (1985) *apud* Vale *et al* (2007), cerca de 45 a 55 % do grão de café colhido é resíduo, assim, em uma tonelada de grão de café produzido, em média, 50 % é casca e polpa, e 50 % é grão limpo.

Além do resíduo citado por Rosa *et al* (2017), pode-se obter mais dois resíduos: a casca, produzida no processo de secagem pela via seca, e a polpa, obtida no processo de secagem via úmida, ambas podem ser utilizadas como fertilizantes e ração animal, (SOCCOL, 2002).

Utilizando esse resíduo para a produção de novos produtos, Castro (2017), analisou a utilização de casca de café *in natura* em fabricação de tijolos de solo-cimento, essa mistura teve impacto direto nas propriedades físicas, mecânicas e isolamento térmicas do material.

Em relação às propriedades físicas, o acréscimo do resíduo promoveu uma queda na massa específica aparente seca e o aumento na absorção de água. Já o melhor resultado para a resistência à compressão, foi na confecção do tijolo solo-cimento sem casca de café, pois os tijolos com acréscimo no teor de casca implicou na redução da resistência à compressão conforme apresentado na Tabela 2, chegando a diminuir cerca de 51,52 % da resistência aos 14 dias e 73 % aos 28 dias a amostra com 20 % de resíduo em relação ao de 0 % (CASTRO, 2017).

Tabela 2 - Valores médios da resistência à compressão do tijolo solo-cimento em MPa

Idade (dias)	Porcentagens de casca de café				
	0%	5%	10%	15%	20%
14	1,32±0,13	1,42±0,09	1,15±0,04	0,75±0,07	0,68±0,01
28	1,50±0,11	1,37±0,15	1,18±0,06	0,73±0,07	0,41±0,03
56	2,16±0,27	1,32±0,16	0,91±0,09	0,51±0,09	0,60±0,03

Fonte: CASTRO, 2017.

Castro (2017), observou que, para o percentual de 5 % de resíduo *in natura*, obtiveram médias, estatisticamente iguais ao 14 dias, 28 dias e 54 dias, assim, indicando que o resíduo vegetal afetou o processo de hidratação do cimento, impedindo o aumento da resistência com o passar da idade.

<sup>6</sup> KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

Em relação ao ensaio de isolamento térmico, o tijolo com resíduo indica uma capacidade maior de isolamento térmico, evidenciando, assim, a potencialidade do material na melhoria do conforto térmico de edificações (CASTRO, 2017).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 MATERIAIS

Nesta subseção, apresentam-se os materiais que foram utilizados nesta pesquisa, com suas propriedades analisadas e/ou previstas.

#### 4.1.1 Aglomerantes

Cimento *Portland* tipo II composto com escória granular de alto-forno (CP II – E – 32), de massa específica média aproximada de 3,15 g/cm<sup>3</sup>, disponíveis em sacos de 50 kg.

#### 4.1.2 Material alternativo

Resíduo da torrefação de café arábico (*Coffea arábica L.*) apresentado na Imagem 1 (a), obtido na cidade de Piumhi –MG, queimado no forno mufla a 700 °C para obter a cinza Imagem 1 (b).

Imagem 1 – Resíduo *in natura* (a) e Cinza da casca de café (b)



Fonte: do próprio autor, 2020.

#### 4.1.3 Água de amassamento

Água potável proveniente da rede de distribuição pública do município de Piumhi, no período de janeiro de 2019 a julho de 2020.

#### 4.1.4 Agregados

Os agregados utilizados foram brita e areia. A granulometria da brita, o módulo de finura da areia e o diâmetro do agregado gráudo considerado foram os obtidos nos ensaios da pesquisa realizada por Nunes et al. (2019), conforme apresentado no Quadro 3, por se tratar dos mesmos agregados utilizados nesta pesquisa.

Quadro 3 - Características dos agregados

Agregado graúdo		Agregado miúdo	
<b>Granulometria máxima (mm)</b>	19	<b>Módulo de finura</b>	3,07
<b>Massa unitária (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1464,80	<b>Massa unitária (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1810,00
<b>Massa Específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2749,36	<b>Massa Específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2495,61

Fonte: do próprio autor, 2020.

Antes da utilização dos materiais, eles foram secados em estufa até a estabilização da massa.

## 4.2 MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentados, em etapas, os métodos utilizados para a caracterização dos agregados; obtenção da cinza da casca de café; determinação do traço; cura e ensaios realizados.

### 4.2.1 Etapa 1: Produção e classificação dos materiais

As características dos agregados foram consideradas as mesmas obtidas na pesquisa de Nunes et al. (2019) denominado “*Concreto com resíduo para utilização em pavimentos intertravados*”, pois trata-se do mesmo material utilizado nesta pesquisa.

Para a determinação do módulo de finura do agregado miúdo, foi realizado o ensaio de granulometria, conforme indicado na ABNT NBR NM 248 (2001), utilizando uma balança de precisão, estufa, peneiras das séries normal e intermediária, agitador mecânico, balde de 5L e pincel. Após obter a umidade zero (0%) com o auxílio da estufa, foi separado e realizado o peneiramento, conforme apresentado na Imagem 2.

Imagem 2- Ensaio de Granulometria



Fonte: do próprio autor, 2020.

A massa específica do agregado miúdo foi determinada conforme a ABNT NBR NM 52 (2009). Para esse ensaio, foi utilizada uma balança de precisão, molde troncônico, haste de compactação, frasco aferido e estufa. Deixou-se a amostra em repouso por 24 horas em um recipiente encoberto de água. Após esse repouso, colocou-se a amostra para secar com a ação da corrente natural de ar, até os grãos do agregado não ficarem fortemente aderidos entre si.

Em seguida, colocou-se o agregado no molde sem comprimi-lo compactando sua superfície com 25 golpes aplicados com a haste de socamento, repetindo esse procedimento até ocorrer o desmoronamento ao retirar o molde, assim, estando o agregado miúdo na condição saturado de superfície seca. Após esse procedimento, extraiu 500g da amostra e colocou-se no frasco aferido, completando com 500 cm<sup>3</sup> de água.

Já para a obtenção da massa específica do agregado graúdo, foi utilizada uma balança com capacidade mínima de 10 kg que dispunha de um dispositivo capaz de manter o recipiente com a amostra suspenso na água, um cesto de arame, um tanque de água, uma peneira com abertura nominal de 4,75 mm e uma estufa. Após a coleta da amostra, passou o agregado na peneira de 4,75 mm para retirar todo o material com dimensão menor que a abertura da peneira, lavou completamente todo o agregado, e, após a limpeza, deixou o material na estufa por 24 horas, conforme apresentado na Imagem 3 (a).

Em seguida, deixou a amostra submersa na água por aproximadamente 24 horas. Logo após, retirou-se a amostra envolvendo-a em um pano absorvente, para eliminar toda a água visível, conforme representado respectivamente na Imagem 3 (b) e Imagem 3 (c). Após isto, pesou-se a amostra e, posteriormente, foi feita a secagem da amostra por 24 horas na estufa.

Imagem 3 - Obtenção da constância de massa em estufa (a); Submersão da amostra (b); Secagem superficial (c)



Fonte: do próprio autor, 2020.

Por fim, foram utilizados três recipientes de louça, um pincel, um recipiente e o forno mufla para obtenção da cinza da casca de café. Foram preenchidos todos os recipientes de louça com o resíduo e inserindo-os no forno mufla até atingir a temperatura de 700 °C (demonstrado na Imagem 4). Após chegar na temperatura determinada, o forno foi desligado e a retirada da cinza era feita somente após as 24 horas.

Imagem 4 - Processo de queima



Fonte: do próprio autor, 2020.

## 4.2.2 Etapa 2: Determinação do traço e confecção dos corpos de prova

A metodologia para a determinação do traço de concreto foi determinada de acordo com o método de dosagem ABCP, proposto por Rodrigues (1983).

Esse método pode ser considerado empírico, seus procedimentos de execução são efetuados utilizando tabelas e quadros, com uma sequência de passos diretos que se desenvolve de um roteiro simples e de fácil utilização.

### 4.2.2.1 Argamassa com resíduo

Para determinar a quantidade cinza que foi utilizada no concreto, desenvolveu-se uma tabela para obter o traço de concreto de acordo com o método de dosagem ABCP, sendo adotado uma resistência característica de 25 MPa, o qual foi extraído a quantidade de agregado graúdo do traço para obter uma “argamassa” (Figura 5), apenas com o intuito de verificar a porcentagem ideal de substituição de cimento por cinza.

Figura 5 - Traço de referência para a argamassa

DADOS DE ENTRADA			DETERMINAÇÃO DO CONSUMO	
CONCRETO	Fck	25,00 MPa	Fc28	34,08 MPa
	ABATIMENTO	90 + 10	CONSUMO DE CIMENTO	433,40 Kg/m <sup>3</sup>
	Sd	5,50 MPa	CONSUMO DE AGREGADO GRAÚDO	941,87 Kg/m <sup>3</sup>
CIMENTO	γ	3120 Kg/m <sup>3</sup>	CONSUMO DE AGREGADO MIÚDO	782,40 Kg/m <sup>3</sup>
AREIA	MF	3,07	<b>TRAÇO EM MASSA</b> <b>1 : 1,81 : 2,17 : 0,47</b>	
	γ	2495,61 Kg/m <sup>3</sup>		
BRITA	γ	2749,36 Kg/m <sup>3</sup>	<b>CONSUMO DE MATERIAIS PARA O TRAÇO</b>	
	δ	1464,80 Kg/m <sup>3</sup>		
		19mm	CONSUMO DE CIMENTO	0,95 Kg
A/C	0,473		CONSUMO DE AGREGADO MIÚDO	1,72 Kg
CONSUMO DE ÁGUA	205 l/m <sup>3</sup>		CONSUMO DE AGREGADO GRAÚDO	2,07 Kg
Vpc	0,643		CONSUMO DE ÁGUA	0,45 l
OBS.:	δ areia	1,81 Kg/l		

Fonte: do próprio autor, 2020.

Após a obtenção do traço, foi determinada a quantidade de material para a fabricação de seis corpos de prova referência, devido à capacidade do misturador de argamassa. Contudo, foi considerado que o primeiro traço a ser analisado seria com 5% de resíduo em substituição ao cimento; caso houvesse um bom desempenho, seria analisado com uma

substituição maior. (no apêndice A é apresentado o processo de obtenção da cinza até a realização do ensaio de compressão axial).

#### 4.2.2.2 Concreto com resíduo

A determinação dos materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova de concreto foi realizada de acordo com o mesmo traço utilizado na composição da argamassa, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Traço de referência para o concreto

DADOS DE ENTRADA			DETERMINAÇÃO DO CONSUMO	
CONCRETO	Fck	25,00 MPa	Fc28	34,08 MPa
	ABATIMENTO	90 +-10	CONSUMO DE CIMENTO	433,40 Kg/m <sup>3</sup>
	Sd	5,50 MPa	CONSUMO DE AGREGADO GRAÚDO	941,87 Kg/m <sup>3</sup>
CIMENTO	γ	3120 Kg/m <sup>3</sup>	CONSUMO DE AGREGADO MIÚDO	782,40 Kg/m <sup>3</sup>
AREIA	MF	3,07	TOTAL DE MATERIAL PARA O TRAÇO DE CONCRETO REFERÊNCIA E DO CONCRETO COM A CINZA	
	γ	2495,61 Kg/m <sup>3</sup>		
BRITA	γ	2749,36 Kg/m <sup>3</sup>	CONSUMO DE CIMENTO	27,13 Kg
	δ	1464,80 Kg/m <sup>3</sup>	CONSUMO DE AGREGADO MIÚDO	50,16 Kg
		19mm	CONSUMO DE AGREGADO GRAÚDO	60,39 Kg
A/C	0,473		CONSUMO DE CINZA DA CASCA DE CAFÉ - TRAÇO COM 2%	0,19 Kg
CONSUMO DE ÁGUA	205 l/m <sup>3</sup>		CONSUMO DE CINZA DA CASCA DE CAFÉ - TRAÇO COM 5%	0,46 Kg
Vpc	0,643		CONSUMO DE ÁGUA	13,15 l
OBS.:	δ areia	1,81 Kg/l		

Fonte: do próprio autor, 2020.

### 4.2.3 Etapa 3: Ensaio

#### 4.2.3.1 Índice de consistência da argamassa

O índice de consistência foi determinado logo após a preparação da argamassa, enchendo o troncônico em três camadas no centro da mesa. Em cada camada de alturas aproximadas, aplicou-se quinze, dez e cinco golpes com o soquete, distribuindo os golpes uniformemente. Após o preenchimento do troncônico e a aplicação dos golpes, realizou-se o rasamento da argamassa com régua metálica (ABNT NBR 13276, 2016).

Por fim, acionou a manivela da mesa para índice de consistência, de modo que a mesa subisse e caísse 30 vezes em 30 segundos de maneira uniforme. Após a última queda, mediu-se, com o auxílio de uma régua, o espalhamento da argamassa em três diâmetros ao longo do perímetro (ABNT NBR 13276, 2016).

Figura 7 - Índice de consistência da argamassa

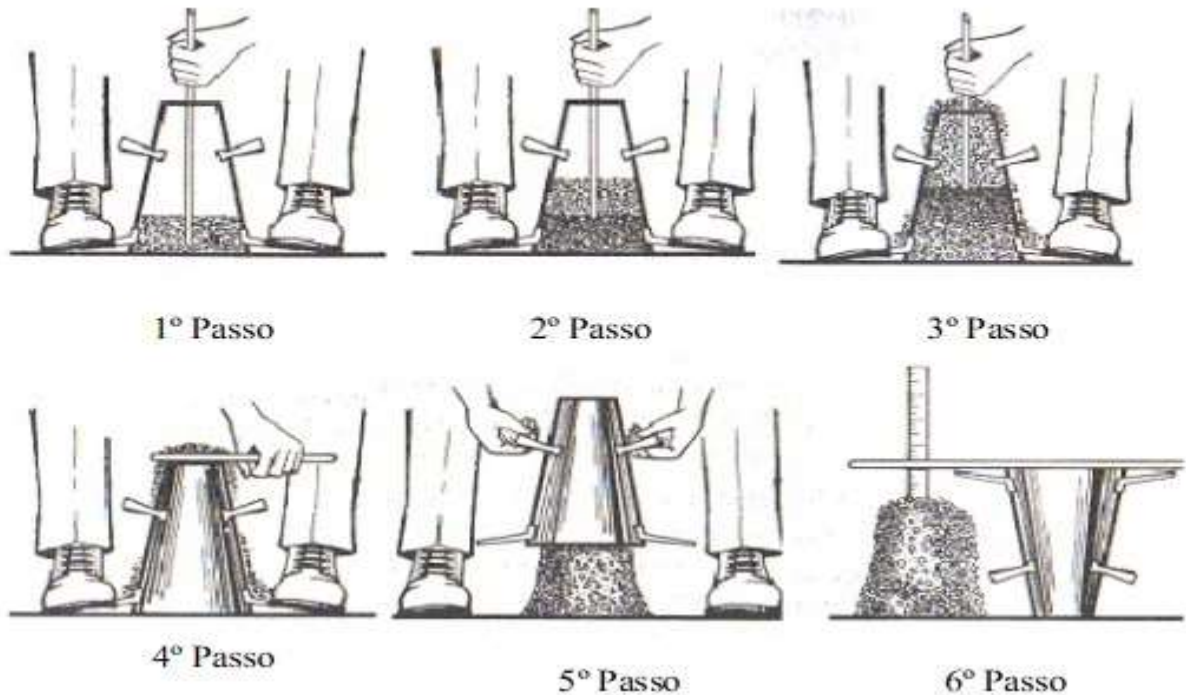


Fonte: do próprio autor, 2020.

#### 4.2.3.2 Verificação da coesão, consistência e trabalhabilidade do concreto

Foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone conhecido também por *slump test*, seguindo a norma ABNT NBR NM 67 (1998). A Figura 8 ilustra o procedimento para a realização do ensaio.

Figura 8 - Procedimentos para a realização do *Slump Test*



Fonte: GUERRA, 2019.

O concreto foi colocado no tronco de cone em três camadas e, em cada uma delas, foi aplicado 25 golpes. (Passo 1º, 2º e 3º da Figura 8). O tronco foi rasado (4º Passo), levantado (5º Passo), e o abatimento da massa foi obtido (6º Passo).

#### 4.2.3.3 Moldagem dos corpos de prova

Para a realização dos ensaios de resistência, foram produzidas amostras cilíndricas de concreto com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm de acordo com a norma ABNT NBR 5738 (2016) (no apêndice B é possível verificar todo o processo de fabricação dos corpos de prova), e amostras cilíndricas de argamassa com diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm, de acordo com a norma ABNT NBR 7215 (2019).

#### 4.2.3.4 Preparação dos corpos de prova para ensaios

Neste trabalho, foram utilizadas placas de madeira compensada de tamanho 11 cm x 11 cm e espessura de 0,9 cm, evitando a necessidade de tratamento nos corpos de prova.

#### 4.2.3.5 Cura do material

A cura deve ser realizada para evitar a perda prematura de água da mistura e diminuir a fissuração. Nesse caso, foi utilizado o processo de cura em tanque, onde as amostras ficaram submersas por 15 dias, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Tanque de cura



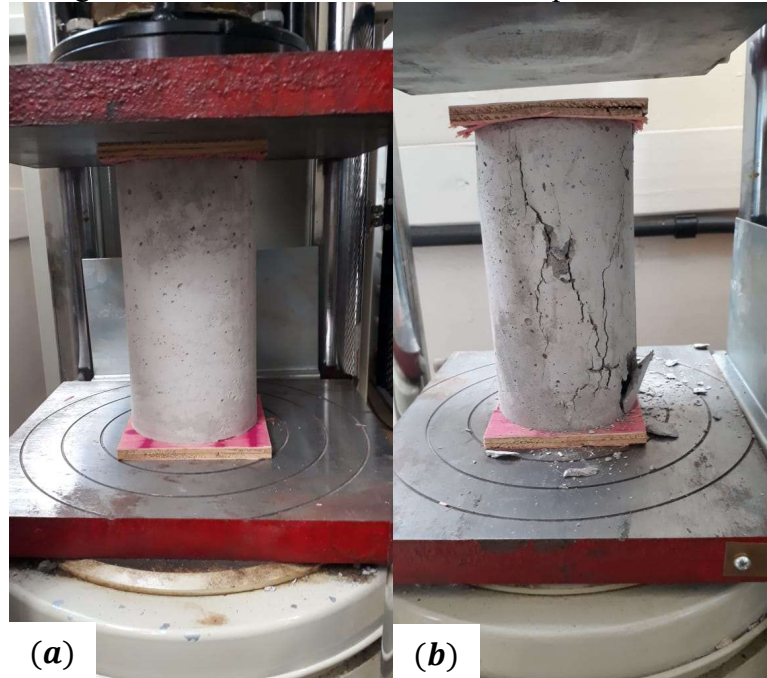
Fonte: do próprio autor, 2020.

#### 4.2.3.6 Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado conforme as prescrições da ABNT NBR 5739 (2018). Foram utilizados corpos de provas cilíndricos com diâmetro de 10

cm e altura de 20 cm. A Figura 10 (a) mostra o início do ensaio de compressão e a Figura 10 (b) mostra o corpo de prova após a realização do ensaio.

Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão axial do concreto



Fonte: do próprio autor, 2020.

#### 4.2.3.7 Ensaio de tração por compressão diametral

O valor da resistência à tração foi obtido pela realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, demonstrado na Figura 11, também conhecido como “ensaio de Lobo Carneiro” ou ainda “*Brazilian test*” conforme ABNT NBR 7222 (2011).

Figura 11 - Compressão diametral



Fonte: do próprio autor, 2020.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1.1 Etapa 1: Produção e classificação dos materiais

Devido ao processo de obtenção da cinza da casca de café ser lento, determinou a quantidade de cinza obtida no forno mufla, o qual, gera uma parcela muito pequena de cinza como mostra a Tabela 3. Isso ocorre devido à capacidade de inserção de casca *in natura* no forno mufla ser pequena e o prazo de queima do resíduo, já que permanecia no forno por 24 horas, obtendo, assim, cerca de 22,32g de cinza por dia, sendo necessário mais de 30 dias para obter todo o resíduo necessário para a pesquisa (cerca de 650g de cinza), o que tornou inviável a obtenção da cinza por esse método.

Tabela 3 - Cinza da casca de café

QUANTIDADE DE CINZA – RESÍDUO DE CAFÉ				
Resíduo	QUEIMA 01	QUEIMA 02	QUEIMA 03	QUEIMA 04
<i>In natura</i>	164,60g	177,59g	183,81g	188,08g
<b>Cinza</b>	19,07g	22,52g	22,26g	25,44g
<b>%</b>	11,59%	12,68%	12,11%	13,53%

Fonte: do próprio autor, 2020.

A umidade e a granulometria da cinza da casca de café não foram obtidas por ter sido queimada de forma controlada no forno mufla até chegar em uma temperatura de 700 °C. Logo após atingir essa temperatura, o forno foi desligado e deixado esfriar por 24 horas.

### 5.1.2 Etapa 2: Determinação do traço e confecção dos corpos de prova

Para início do estudo do traço referência, foi desenvolvido um traço experimental (1:1,81:2,17 – cimento:areia:brita, em massa) de acordo com o método ABCP, considerando uma resistência característica de 25 MPa. Adotou-se um abatimento de  $9,0 \pm 1,0$  cm e relação água/cimento de 0,47.

Com o intuito de consumir a menor quantidade de cinza, foi realizada a confecção dos corpos de prova ( $\emptyset 5 \times 10$ cm) de argamassa, retirando apenas o agregado graúdo na composição do traço. O consumo de materiais para a confecção dos corpos de provas da argamassa é apresentado no Quadro 4, sendo analisada, inicialmente, a proporção de 5 % de substituição do cimento pela cinza. Contudo, devido ao baixo desempenho apresentado no ensaio de compressão axial da argamassa com 5 % de cinza (apresentado no item 5.1.3) aos 7

e 28 dias, optou-se por analisar nos corpos de prova de concreto somente com 2 % e 5 % de cinza.

Quadro 4 - Levantamento de material para a argamassa referência e com 5% de cinza

<b>CONSUMO DE CIMENTO</b>	0,90 Kg
<b>CONSUMO DE AGREGADO MIÚDO</b>	1,72 Kg
<b>CONSUMO DE CINZA DE CASCA DE CAFÉ</b>	0,05 Kg
<b>CONSUMO DE ÁGUA</b>	0,45 l

Fonte: do próprio autor, 2020.

Já a quantidade de materiais utilizados na confecção dos corpos de prova do concreto referência, com 2 % e 5 % de cinza é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 - Levantamento de material para o concreto referência, 2% e 5% de cinza

<b>CONSUMO DE CIMENTO</b>	27,13 Kg
<b>CONSUMO DE AGREGADO MIÚDO</b>	50,16 Kg
<b>CONSUMO DE AGREGADO GRAÚDO</b>	60,39 Kg
<b>CONSUMO DE CINZA DA CASCA DE CAFÉ - TRAÇO COM 2%</b>	0,19 Kg
<b>CONSUMO DE CINZA DA CASCA DE CAFÉ - TRAÇO COM 5%</b>	0,46 Kg
<b>CONSUMO DE ÁGUA</b>	13,15 l

Fonte: do próprio autor, 2020.

### 5.1.3 Etapa 3: Ensaio

Foi determinado o índice de consistência da argamassa, obtendo três medidas do diâmetro em direções diferentes, conforme apresentado Figura 12. Obteve-se a média de 16,3 cm para o traço referência, sendo esse resultado satisfatório para a consistência da argamassa.

Figura 12 - Índice de consistência da argamassa



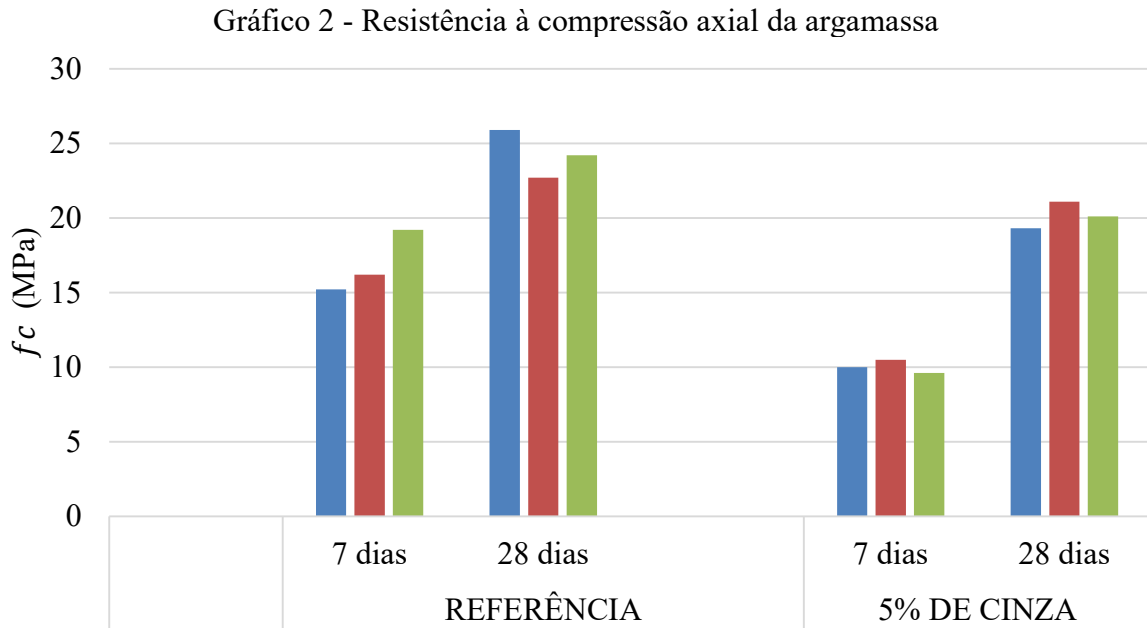
Fonte: do próprio autor, 2020.

No Quadro 6, são apresentados os resultados dos ensaios de compressão axial realizados nos corpos de prova da argamassa aos 7 e 28 dias, no qual observa-se que a substituição de 5 % de cimento por cinza, influenciou, significativamente, na perda da resistência, principalmente aos 7 dias de cura. No Gráfico 2 é possível verificar a queda explícita da resistência axial aos 7 dias, chegando a diminuir cerca de 6,8 MPa e aos 28 dias diminuindo cerca 4,1 MPa. Portanto, era esperado que ocorresse uma diminuição da resistência uma vez que aumenta o consumo de resíduo no ensaio da argamassa e no ensaio do concreto, conforme apresentado no estudo de Castro (2017), sendo que os tijolos solo-cimento com adição do resíduo *in natura* implicou na redução da resistência à compressão, portanto, considerando o limite de 5 % de cinza em substituição do cimento para a análise da influência da cinza no concreto.

Quadro 6 - Ensaio de compressão axial: Argamassa.

<b>Argamassa referência (sem resíduo)</b>						
	<b>CP1 (MPa)</b>	<b>CP2 (MPa)</b>	<b>CP3 (MPa)</b>	<b>CP4 (MPa)</b>	<b>CP5 (MPa)</b>	<b>CP6 (MPa)</b>
<b>7 dias</b>	15,2	-	16,2	19,2	-	-
<b>Média aos 7 dias (MPa)</b>	16,87					
<b>28 dias</b>	-	25,9	-	-	22,7	24,2
<b>Média aos 28 dias (MPa)</b>	24,27					
<b>Argamassa com resíduo 5 %</b>						
	<b>CP1 (MPa)</b>	<b>CP2 (MPa)</b>	<b>CP3 (MPa)</b>	<b>CP4 (MPa)</b>	<b>CP5 (MPa)</b>	<b>CP6 (MPa)</b>
<b>7 dias</b>	10,0	-	10,5	9,6	-	-
<b>Média aos 7 dias (MPa)</b>	10,03					
<b>28 dias</b>	-	19,3	-	-	21,1	20,1
<b>Média aos 28 dias (MPa)</b>	20,17					

Fonte: do próprio autor, 2020.



Fonte: do próprio autor, 2020.

Antes da confecção dos corpos de prova, foi determinada a umidade dos agregados, levantando suas respectivas massas e inseridos na estufa por 24 horas; após esse período foi determinado sua massa seca. Na Tabela 4 pode-se verificar a umidade dos agregados.

Tabela 4 - Teor de umidade dos agregados

<b>DETERMINAÇÃO DA UMIDADE</b>			
	$m_i$ (g)	$m_f$ (g)	UMIDADE (%)
<b>AGREGADO MIÚDO</b>	3635,96 g	3633,84 g	0,058
<b>AGREGADO GRAÚDO</b>	3520 g	3520 g	0,000

Fonte: do próprio autor, 2020.

Devido à umidade do agregado miúdo e graúdo ser aproximadamente 0 %, não foi realizada a adequação do traço, pois a umidade presente no agregado não muda a relação água/cimento determinada.

No ensaio de abatimento do concreto, foi necessário aumentar o consumo de água do traço passando de 4,38 litros para 4,89 litros, pois o abatimento obtido no concreto referência foi de 7 cm, conforme demonstrado na Imagem 5. Com o intuito de manter o traço e analisar apenas a influência do resíduo no concreto, optou-se em apenas mensurar o abatimento dos concretos com cinza e verificar seu comportamento no ensaio à compressão axial e diametral, assim, mantendo a mesma relação água/cimento.

Imagem 5- Ensaio de abatimento do concreto referência



Fonte: do próprio autor, 2020.

Tabela 5 - Ensaio de abatimento  
**ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE**

	<b>ESPERADO</b>	<b>REFERÊNCIA</b>	<b>2%</b>	<b>5%</b>
<b>ABATIMENTO MÉDIO (cm)</b>	9 ± 1	7 ± 1	6,8 ± 1	1,4 ± 1
<b>ADIÇÃO DE ÁGUA (mL)</b>	-	510	510	510

Fonte: do próprio autor, 2020.

Na Tabela 5, é possível observar o abatimento esperado para o concreto referência, de acordo com o traço determinado para análise. Contudo, no processo de confecção dos corpos de prova, foi possível verificar, através do ensaio de abatimento, que o concreto referência com a adição de mais 510 mL de água não atingiu o abatimento esperado.

Além disso, os concretos, com 2 % e 5 % de cinza, apresentaram um abatimento menor que o obtido no ensaio do concreto referência. Essa alteração no abatimento pode ter sido provocada devido ao tamanho das partículas da cinza, pois quanto menor a partícula, maior a superfície do conjunto das partículas. Assim, retém maior quantidade de água que, por consequência, diminui o abatimento no ensaio.

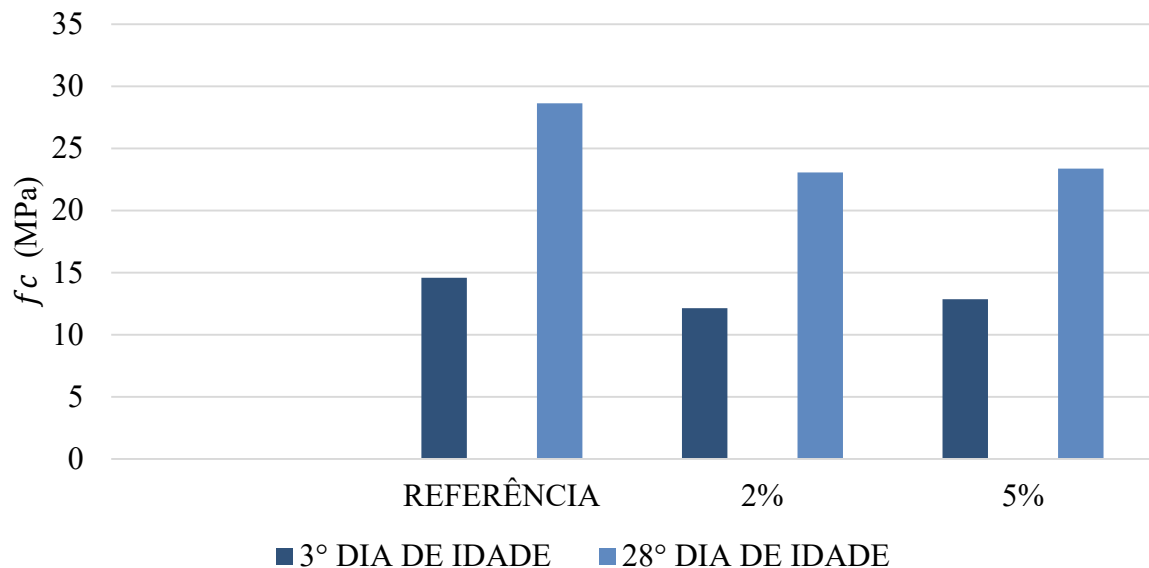
Por fim, com o objetivo de determinar a resistência das amostras de concreto, foram realizados os ensaios de compressão axial e diametral no 3° e 28° dia de idade, sendo apresentado no Quadro 7 os resultados obtidos.

Quadro 7 - Ensaios de compressão axial e diametral

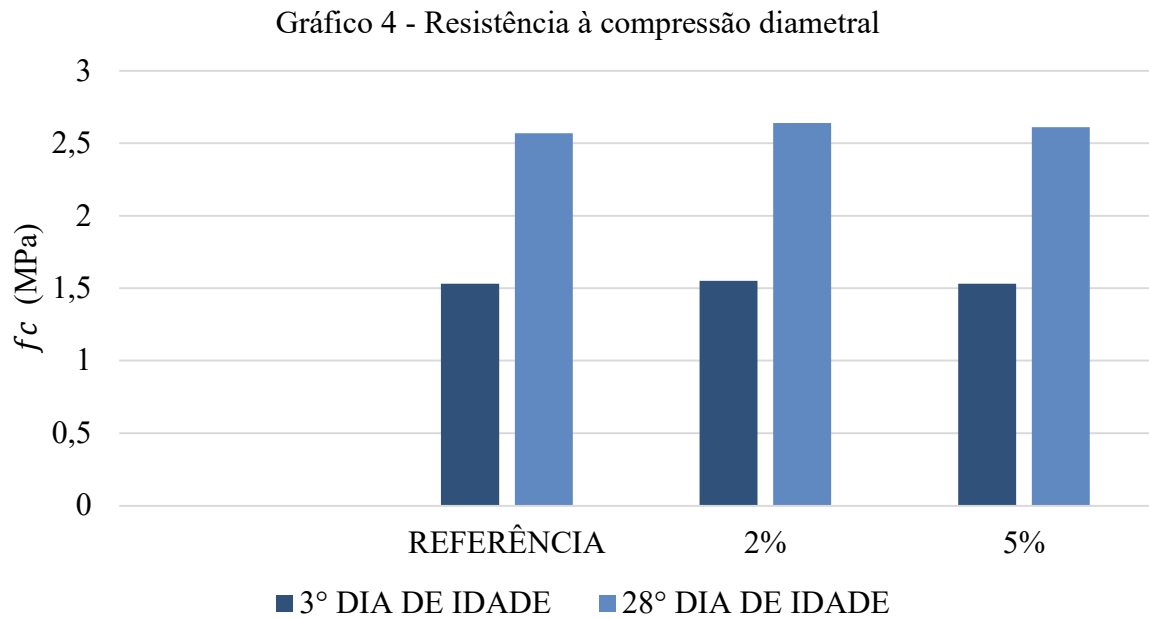
ENSAIO DE RESISTÊNCIA					
TRAÇO		REFERÊNCIA	2%	5%	
3° DIA DE IDADE	AXIAL	CP1 (MPa)	14,92	12,44	12,37
		CP2 (MPa)	14,90	12,76	12,86
		CP3 (MPa)	13,92	11,22	13,33
	MÉDIA (MPa)		14,58	12,14	12,85
	DIAME.	CP1 (MPa)	1,61	1,39	1,44
		CP2 (MPa)	1,61	1,65	1,44
		CP3 (MPa)	1,38	1,61	1,72
MÉDIA (MPa)		1,53	1,55	1,53	
28° DIA DE IDADE	AXIAL	CP4 (MPa)	26,88	21,11	24,81
		CP5 (MPa)	28,62	22,97	25,98
		CP6 (MPa)	30,33	25,13	19,35
	MÉDIA (MPa)		28,61	23,07	23,38
	DIAME.	CP4 (MPa)	2,47	2,32	2,34
		CP5 (MPa)	2,51	2,50	2,73
		CP6 (MPa)	2,72	3,10	2,76
MÉDIA (MPa)		2,57	2,64	2,61	

Fonte: do próprio autor, 2020.

Gráfico 3 - Resistência à compressão axial



Fonte: do próprio autor, 2020.



Fonte: do próprio autor, 2020.

A partir dos dados obtidos nos ensaios de resistência, pode-se observar uma queda significativa em relação à amostra de referência de 19,4 % na resistência à compressão axial na amostra com 2 % de resíduo e 18,3 % na amostra com 5 % de resíduo no ensaio de 28 dias de cura (Gráfico 3).

Esse leve ganho de resistência no concreto com 5 % de cinza em relação ao de 2 %, pode ter ocorrido no processo de confecção dos corpos de prova, devido à não uniformidade no processo de confecção, o qual, pode ter ocasionado uma diminuição da resistência no lote com 2 % ou um ganho de resistência no lote de 5 %. Portanto, faz-se necessárias outras porcentagens de resíduo em substituição do cimento para verificar esse comportamento, mas, no geral, ocorre uma queda na resistência, conforme apresentado por Castro (2017).

Tal comportamento de queda na resistência à compressão axial, pode ser explicado pelo baixo teor de sílica presente na cinza da casca de café, como apresentado por Rodrigues (2008), enquanto que a cinza da casca de arroz apresentava alto teor de sílica, concomitantemente, melhorando o desempenho do concreto.

Outro fator que pode ser considerado para esse comportamento é o processo de queima, que não ocorreu por igual com os resíduos na parte inferior do recipiente. Desse modo, apresentou matéria orgânica que não foi totalmente queimada (Imagem 6), aumentando, assim, os vazios contido na amostra, causando menor resistência mecânica.

Imagem 6- Processo de queima da casca de café



Fonte: do próprio autor, 2020.

No entanto, no ensaio de compressão diametral, teve um aumento de 2,7 % no resultado da amostra com 2 % de resíduo em relação à amostra de referência e 1,7 % na amostra com 5 % de resíduo (Gráfico 4), entretanto, não melhorou, significativamente, o desempenho do concreto contra os esforços de tração.

## 6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou analisar a influência da cinza de café torrado em ambiente controlado (com utilização do equipamento forno mufla) em substituição parcial do cimento no concreto, a partir de um traço estabelecido previamente.

Ao realizar a queima do resíduo de café *in natura*, observou-se uma grande dificuldade na obtenção da cinza, devido à pequena quantidade de material comportado no forno mufla (cerca de 178,5 g por queima). Além de que, as 178,5 g de café *in natura* fornecem apenas 13% da massa do resíduo de cinza, sendo essa a principal complexidade na obtenção da cinza. Além disso, o resíduo não era queimado por igual, onde a parte superior encontrava-se na cor cinza e a parte inferior na cor preta, portanto não obteve uma queima homogênea.

Pode-se notar que o resíduo queimado em substituição do aglomerante (cimento) não trouxe benefício na resistência à compressão axial, causando uma diminuição significativa de sua resistência. Diante disso, verificou-se que as cinzas tiveram o papel de “vazios”, ou seja, apenas ocupou um espaço sem contribuir com a resistência mecânica, diferente da cinza da casca de arroz, que é rica em sílica e traz melhor desempenho ao concreto.

Em relação ao ensaio de compressão diametral, houve o mesmo comportamento, ou seja, a inserção da cinza não melhorou seu desempenho de forma significativa, conforme já esperado, devido ao resultado do ensaio de compressão axial.

Portanto, conforme apresentado nos Gráfico 3 e Gráfico 4 é possível concluir que a substituição de 2 % e 5 % da cinza da casca de café, de acordo com os dados obtidos nessa pesquisa, não são viáveis, apresentado uma queda considerável no desempenho mecânico do material. Mesmo sendo utilizado em concreto sem função estrutural, uma queda na resistência acima de 15 % do concreto convencional, não justifica a utilização de uma substituição de até 5 % de cinza por cimento.

Além disso, pela dificuldade de obtenção de cinza e energia gasta com esse processo, sem que ocorra melhora nas características do concreto, torna-se inviável. Caso o resíduo *in natura* proporcione o mesmo resultado; a casca seria um material melhor para essa finalidade, devido à diminuição do tempo e energia para a obtenção da cinza.

Com base no trabalho e resultados obtidos, sugere-se alguns trabalhos com o objetivo de reutilizar esse resíduo no concreto de forma que seja possível sua utilização na construção civil.

- Substituir a mesma porcentagem da cinza por resíduo *in natura* em substituição do agregado miúdo, analisando a consequência nas propriedades mecânicas;

- Analisar a viabilidade da utilização do resíduo *in natura* da casca do café em substituição do agregado miúdo em confecção de concretos leves, tendo em vista que a massa específica do mesmo é baixa;
- Analisar a composição mineralógica da cinza da casca do café;
- Analisar a utilização do pó da cinza no concreto, através da trituração da cinza.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Enrique A.; COSTA, José NM; SANTOS, Júlio César F. **Procedimentos de colheita do café**. Embrapa Rondônia-Capítulo em livro científico (ALICE), 2015.

ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, Antônio D. de. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Arte Interativa, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova - versão corrigida. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência a compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduo sólido - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CAMPOS, Renata Cássia. **Propriedades físicas dos grãos de café moca durante o processo de torra**. 2016. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em:

<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8340/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 abr. 2020.

CASTRO, Eliziane Denize de. **Análise da aplicação de casca de café nas propriedades de tijolos se solo-cimento**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) - Universidade Federal de Lavras, 2017. Disponível em:

[http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/13291/2/DISSERTA%c3%87%c3%83O\\_An%c3%a1lise%20da%20aplica%c3%a7%c3%a3o%20de%20casca%20de%20caf%c3%a9%20nas%20propriedades%20de%20tijolos%20de%20solo-cimento.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/13291/2/DISSERTA%c3%87%c3%83O_An%c3%a1lise%20da%20aplica%c3%a7%c3%a3o%20de%20casca%20de%20caf%c3%a9%20nas%20propriedades%20de%20tijolos%20de%20solo-cimento.pdf). Acesso em: 21 abr. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Arroz - Análise Mensal - Fevereiro/Março - 2019**. Brasília: CONAB, 2019. Disponível em:

[https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-arroz/item/download/25122\\_05a163d04cfacfa8de679a2aff8350dd](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-arroz/item/download/25122_05a163d04cfacfa8de679a2aff8350dd). Acesso em: 2 abr. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Observatório Agrícola - Acompanhamento da Safra Brasileira de Café - Quarto Levantamento - Dezembro - 2019**. Brasília: CONAB, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafes/boletim-da-safra-de->

[cafes/item/download/30013\\_fd482acd14be48dead737ef00acb2e75](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafes/boletim-da-safra-de-cafes/item/download/30013_fd482acd14be48dead737ef00acb2e75). Acesso em: abr. 2020.

GONÇALVES, Gislayne Elisana. (2009). Síntese e caracterização de mulita utilizando sílica obtida da casca de arroz. Rem: Revista Escola de Minas, [online], 2009. v.62, n. 3, p. 367-372, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v62n3/v62n3a16.pdf>. Acesso em 2 mar. 2020.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. Clube do Concreto. O que é Slump Test (ensaio de abatimento)? Disponível em: [http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/o-que-e-slump-test-ensaio-de-abatimento\\_29.html](http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/o-que-e-slump-test-ensaio-de-abatimento_29.html). Acesso em: 4 abr. 2019.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. (2011). **Materiais de construção básicos**. Rio Grande do Sul: UAB/IFSUL, 2011/2. Apostila. Disponível em:

[http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/\\_pdf/apostila\\_mcb.pdf](http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf). Acesso em: 21 abr. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno Bruto - PIB. IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/ PIB.php>. Acesso em: 5 abr. 2020.

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS. Rede de Bibliotecas. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos**. Belo Horizonte: IFMG, 2020. Disponível em: <https://www2.ifmg.edu.br/portal/ensino/bibliotecas/manual-de-normalizacao-do-ifmg>. Acesso em: 2 abr. 2020.

ISAIA, Geraldo Cechella. (2010). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos da construção. *In: SEMINÁRIO - RECICLAGEM DE RERÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES*, 2000, São Paulo. Disponível em: [http://sinop.unemat.br/site\\_antigo/prof/foto\\_p\\_downloads/fot\\_12596yeciclagem\\_de\\_besiduos\\_da\\_constbucao\\_-\\_8\\_pdf\\_Reciclagem\\_de\\_residuos\\_da\\_construcao\\_-\\_8.pdf](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_12596yeciclagem_de_besiduos_da_constbucao_-_8_pdf_Reciclagem_de_residuos_da_construcao_-_8.pdf). Acesso em 2 abr. 2020.

JUNIOR, Félix Krolow Sell *et al.* Desempenho de concretos com substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.11, n.4, p. 182-191, dez. 2019. Disponível em: <https://www.revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/14172/209209212819>. Acesso em 2 abr. 2020.

MARQUES, Samuel Guilherme Freire *et al.* Produção de concreto para piso intertravado com adição de resíduos de borracha de pneus inservível. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 8 p. 11260-11275, ago. 2019. Disponível em: <http://www.brjd.com.br/index.php/BRJD/article/view/2672/2677>. Acesso em: 2 abr. 2020.

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

Nunes, Derlon Silva *et al.* **Concreto com resíduo para utilização em pavimentos intertravados**. 2019. Projeto de Pesquisa - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Piumhi, 2019.

PEDERNEIRAS, Cinthia Maia. Avaliação de blocos intertravados com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição de obras do município de Natal/RN. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22630/1/CinthiaMaiaPederneiras\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22630/1/CinthiaMaiaPederneiras_DISSERT.pdf). Acesso em: 21 abr. 2020.

PONTES, Alda Marcela Souza de Albuquerque; ARAÚJO, Elisa Rodrigues. **Análise da utilização de borracha de pneu como redução de resíduos sólidos para produção de blocos de concreto**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2018. Disponível em: <https://ri.cesmac.edu.br/bitstream/tede/172/1/An%c3%a1lise%20da%20utiliza%c3%a7%c3%a3o%20de%20borrachas%20de%20pneu%20como%20redu%c3%a7%c3%a3o%20de%20res>

[%c3%adduos%20s%c3%b3lidos%20para%20produ%c3%a7%c3%a3o%20de%20blocos%20de%20concreto.pdf](#). Acesso em: 21 abr. 2020.

RODRIGUES, Michelle Santos. **Caracterização de cinza residual da queima de casca de arroz para a produção de argamassa**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2008. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257020/1/Rodrigues\\_MichelleSantos\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257020/1/Rodrigues_MichelleSantos_M.pdf). Acesso em: 02 nov. 2020.

RODRIGUES, Púlio Penna Firme. Parâmetro da dosagem racional do concreto. **34ª Reunião de técnicos da indústria do cimento**. [S.l.: s.n.], Anexo 5, 1983.

ROSA, Daniel da Silva *et al.* A adequação ambiental na torrefação de café. **Revista Gestão Tecnologia e Ciência**, [S.l.] v.6, n. 11, p. 167-180, 2017.




SANTOS, Amanda Thirza Lima *et al.* Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de compostos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência da Amazônia**, [S.l.], 2014. v.3, n. 1, p. 15-28, 2014. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Aproveitamento-da-fra%C3%A7%C3%A3o-org%C3%A2nica-dos-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-urbanos-para-produ%C3%A7%C3%A3o-de-composto-org%C3%A2nico.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2020.

SILVEIRA, Paulo Moreira *et al.* Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. **Revista matéria**, Rio de Janeiro, 2016. ISSN 1517-7076, p. 416-428, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v21n2/1517-7076-rmat-21-02-00416.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2020.

SOCCOL, C. R. Resíduo de café um substrato promissor para a produção individual de bioprodutos com alto valor agregado. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 2002, Poços de Calda. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/532>. Acesso em: 2 abr. 2020.

VALE, Ailton Teixeira do *et al.* (2007). Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grão de café (*coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), Duke. **Revista Cerne**, Lavras, 2007. v.13. n. 4. p. 416-420, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74413410.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2020.

**Apêndice A – Quadro de imagens: confecção e realização dos ensaios de compressão dos corpos de prova de argamassa**

Descrição	Confecção argamassa
Queima do resíduo de café	
Queima do resíduo de café	
Separação de materiais	

Separação de materiais



Determinação da consistência da argamassa




Ensaio de resistência a compressão axial



Rompimento do corpo de prova



**Apêndice B – Quadro de imagens: confecção e realização dos ensaios de compressão dos corpos de prova de concreto**

Descrição	Confecção argamassa
Separação dos materiais	
Preparo do concreto	

Processo de cura



Ensaio de compressão axial



Ensaio de compressão axial



Ensaio de compressão axial ao 3° dia de idade



Ensaio de compressão diametral ao 3° dia de idade



Ensaio de compressão diametral ao  
3° dia de idade



Amostras referência



Amostras com 2 % de cinza



Amostras com 5 % de cinza



Ensaio de compressão axial ao 28°  
dia de idade



Ensaio de compressão diametral ao  
28° dia de idade



Ensaio de compressão diametral ao  
28° dia de idade

