

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

CARLOS ALBERTO LAZZARIM JUNIOR

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO  
PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO PELA CASCA DE ARROZ *IN NATURA*

Joinville

2020

CARLOS ALBERTO LAZZARIM JUNIOR

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO  
PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO PELA CASCA DE ARROZ *IN NATURA*

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

Orientadora: Dra. Valéria Bennack

Joinville

2020

CARLOS ALBERTO LAZZARIM JUNIOR

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO  
PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO PELA CASCA DE ARROZ *IN NATURA*

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

Joinville (SC), 4 de dezembro de 2020.

**Banca Examinadora:**

---

Profa. Dra. Valéria Bennack  
Orientadora  
Presidente

---

Prof. Dr. Daniel Hastenpflug  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Profa. Ma. Juliana Cristina Frankowiak  
Membro  
Universidade Estadual de Santa Catarina

*Dedico este trabalho aos meus avós (in memoriam), com amor.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha mãe Rosilaine Dal Toé Manfredini e minhas irmãs Rafaela Manfredini Lazzarim e Ariela Lazzarin pela paciência, compreensão e apoio incondicional nesses anos.

Sou imensamente grato à minha família pelo suporte e incentivo que sempre me foi dado.

Agradeço à minha namorada Bruna Machado Cordeiro pela companhia, apoio e confiança.

Agradeço à minha professora orientadora Valéria Bennack não apenas pelas valiosas contribuições dadas para este trabalho, mas também pela paciência e confiança a mim depositada.

Agradeço a todos os amigos do curso de graduação pela amizade e parceria, tornando esta caminhada mais prazerosa.

Agradeço aos amigos do Aterro E.C. pelos momentos de alegria compartilhados dentro e fora de campo.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e ao seu corpo docente pelo comprometimento com a qualidade e excelência de ensino.

Agradeço ao colega Vinícius Krause pelo auxílio na execução dos ensaios em laboratório.

Agradeço à empresa Perville Engenharia e Empreendimentos por ceder equipamentos fundamentais para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Com o crescente consumo de concreto convencional pela construção civil, torna-se necessária maior produção de agregados e, conseqüentemente, a extração da areia, agregado miúdo mais utilizado na produção de concreto, tem influência direta no meio ambiente. A substituição parcial da casca de arroz pela areia pode ser uma alternativa sustentável e interessante, visto que o Brasil é um grande produtor de arroz e a areia é um produto que está se tornando escasso e mais caro. Este trabalho apresenta um estudo sobre a substituição da casca de arroz como agregado miúdo em um concreto com 5 e 10% de substituição. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, ensaio de consistência, porosidade aberta, absorção d'água e densidade relativa do concreto. Os resultados encontrados demonstram que a adição da casca de arroz em 5 e 10% apresentaram um incremento na resistência à compressão de 7,6 e 0,98%, além de um acréscimo na absorção de água em 6 e 7,28% respectivamente.

**Palavras-chave:** Concreto. Agregado. Casca de arroz. Resistência.

## **ABSTRACT**

With the increase in the consumption of conventional concrete by the construction industry, it becomes necessary to produce more aggregates, such as sand, the most used fine aggregate in concrete production, which has a direct influence on the environment. Partial replacement from sand by rice husk can be a sustainable and interesting option, since Brazil is a major rice producer and sand is becoming scarce and more expensive. This work presents a study on rice husk replacement as small aggregate in a concrete with 5 and 10% replacement. Tests of axial compressive strength, consistency, open porosity, water absorption and relative density of concrete were performed. The results found out that the addition of rice husk in 5 and 10% showed an increase in resistance of 7.6 and 0.98%, water absorption also increased in 6 and 7.28% respectively.

**Keywords:** Concrete. Aggregate. Rice Husk. Resistance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas para a execução do trabalho .....	20
Figura 2 - Agregados utilizados no experimento.....	21
Figura 3 - Massa mínima necessária para amostra de ensaio. ....	24
Figura 4 - Corpos de prova moldados após processo de concretagem.....	28
Figura 5 - Diferença entre a altura do molde e o concreto abatido. ....	29
Figura 6 - Corpo-de-prova com substituição parcial de CA rompido. ....	40



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Cimento CP V ARI.....	21
Tabela 2 - Características utilizadas para definir dosagem. ....	22
Tabela 3 - Percentual de água a ser utilizada em relação a quantidade de materiais secos (H). .....	22
Tabela 4 - Porcentagem do teor de argamassa ( $\alpha$ ).....	23
Tabela 5 - Traço do concreto referência. ....	32
Tabela 6 - Peso dos materiais que compõem cada formulação. ....	32
Tabela 7 - Características dos agregados.....	32
Tabela 8 - Massa específica dos agregados. ....	35
Tabela 9 – Resultados da Absorção de água dos agregados.....	35
Tabela 10 - Resultados do <i>Slump Test</i> para cada porcentagem de substituição. ....	36
Tabela 11 - Resistência média à compressão das formulações. ....	36
Tabela 12 - Porosidade aberta média de cada formulação. ....	38
Tabela 13 - Absorção de água média dos corpos-de-prova.....	38
Tabela 14 - Densidade aparente média de cada formulação. ....	39

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva gerada pelo ensaio de granulometria dos agregados miúdos. ....	33
Gráfico 2 - Granulometria do agregado graúdo.....	34
Gráfico 3 - Média e desvio padrão das resistências à compressão.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
a/c – Relação água/cimento  
CA – Casca de Arroz  
CCA – Cinza da Casca de Arroz  
CP – Corpo-de-prova  
DMC - Dimensão Máxima Característica  
Fck – Resistência característica do concreto  
Kcal – Quilocaloria  
Kg – Quilograma  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto  
M – Massa seca em estufa  
Mi – Massa imersa em água.  
mm – Milímetros  
MPa – Megapascal  
Mss – Massa saturada em superfície seca.  
NBR – Norma Brasileira  
SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1. OBJETIVOS .....	10
<b>1.1.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>10</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>11</b>
2.1. CONCRETO .....	11
2.2. COMPONENTES DO CONCRETO .....	11
<b>2.2.1. Cimento</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2.2. Agregados</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.3. Água</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.4. Adições</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.5. Aditivos</b> .....	<b>14</b>
2.3. ARROZ .....	14
<b>2.3.1 Celulose</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3.2 Lignina</b> .....	<b>16</b>
2.4. PROPRIEDADES DO CONCRETO .....	16
<b>2.4.1. Trabalhabilidade</b> .....	<b>16</b>
<b>2.4.2. Resistência à compressão</b> .....	<b>17</b>
<b>2.4.3. Porosidade</b> .....	<b>17</b>
<b>2.4.4. Permeabilidade</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4.5. Durabilidade</b> .....	<b>18</b>
2.5. SEGREGAÇÃO .....	19
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>20</b>
3.1 MATERIAIS .....	20
<b>3.1.1 Cimento</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1.2 Agregados</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1.3 Água</b> .....	<b>21</b>
3.2 DOSAGEM DO CONCRETO .....	21
3.3 GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS .....	24
3.4 MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DO AGREGADO MIÚDO .....	25
3.5 MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO .....	26
3.6 MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA .....	27

3.7 TRABALHABILIDADE .....	28
3.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	29
3.9 PROPRIEDADES FÍSICAS .....	30
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1 DOSAGEM REFERÊNCIA.....	32
4.2 GRANULOMETRIA .....	32
4.3 MASSA ESPECÍFICA .....	34
4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	35
4.5 TRABALHABILIDADE .....	35
4.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	36
4.7 PROPRIEDADES FÍSICAS .....	37
4.8 SEGREGAÇÃO .....	39
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>41</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material construtivo mais consumido pelo homem, tornando-se extremamente difundido pelo mundo. A alta demanda da construção civil acarreta em uma grande necessidade de produção de concreto, os quais encontram-se presentes nos mais variados tipos de obras, desde as de pequeno porte, como casas de alvenaria e edificações, até as de grande porte, como torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e nucleares e até em plataformas de extração petrolíferas móveis (IBRACON, 2009).

Para Almeida e Luz (2012), o alto consumo de agregados naturais que são utilizados para a produção de concreto e argamassas causam grandes impactos no meio ambiente, tornando tais insumos cada vez mais escassos. De acordo com Mesquita (2012), a indústria da construção civil no Brasil consome cerca de 20% a 50% do volume dos recursos naturais consumidos pela sociedade.

Lelles et al. (2005) afirmam que a remoção desequilibrada de areia dos leitos ocasiona impactos negativos durante e após a extração, podendo interferir na direção e velocidade dos rios, alterar a calha original dos cursos d'água, depreciar a qualidade química, física e biológica e induzir a instabilidade nos ambientes ribeirinhos. Segundo Almeida e Silva (2005), a produção nacional de areia natural é composta 90% obtida via extração em leitos de rios e 10% divididos entre outras fontes (várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas). O esgotamento de matérias-primas provenientes de áreas próximas e a restrição dos órgãos de fiscalização ambiental vêm fazendo com que os produtores tenham que explorar em locais mais distantes, tornando o preço final mais alto.

Conforme Santos (1997), além de bom desempenho técnico e funcional, os materiais e as construções necessitam de interações adequadas com o meio ambiente, buscando o mínimo de consumo energético e o menor impacto ecológico. A utilização de resíduos agrícolas e industriais visa amenizar os impactos causados pela construção civil, visto que o Brasil é um grande produtor de grãos, o aproveitamento dos seus resíduos possui grande potencial.

A casca de arroz que é gerada após as primeiras operações de beneficiamento, é considerada um subproduto do processo. Como seu poder calorífico é alto (3000Kcal/Kg), a casca é utilizada em larga escala como fonte de energia em parques industriais e no próprio beneficiamento durante a secagem e parboilização dos grãos. Estudos vêm sendo desenvolvidos buscando alternativas para as cinzas da casca de arroz (CCA) tanto na construção civil como

na área de materiais cerâmicos, pois a maior parte é descartada ou lançada em aterros, gerando problemas ambientais como poluição de mananciais de água, do ar e do solo (POUEY, 2006).

Neste presente trabalho foi escolhido o rejeito do arroz como componente do concreto, visando apresentar uma alternativa à queima da casca de arroz, abrindo mão da combustão pela utilização na forma natural, substituindo parcialmente o agregado miúdo em diferentes teores, a fim de analisar e comparar a influência da casca de arroz nas propriedades mecânicas do concreto convencional através de ensaios físicos e mecânicos realizados nos laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Estudar as propriedades mecânicas de um concreto produzido com a substituição parcial do agregado miúdo pela casca de arroz *in natura*, utilizando diferentes porcentagens.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Definir o traço e os percentuais de substituição do agregado miúdo pela casca de arroz;
- b) Caracterizar os agregados (granulometria, absorção de água, massa específica);
- c) Realizar os ensaios de consistência e resistência à compressão;
- d) Determinar índices físicos (absorção de água, porosidade e densidade relativa);

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados assuntos e definições relevantes ao tema estudado. A fundamentação teórica está subdividida em tópicos relacionados ao concreto, suas propriedades tanto no estado fresco como endurecido, seus componentes e também a adição que será utilizada no experimento, neste caso a casca de arroz *in natura*.

### 2.1. CONCRETO

De acordo com Petrucci (1998), o concreto é um material de construção composto por uma mistura de aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. Quando em estado recém-misturado, deve possuir condições de plasticidade ideais para facilitar as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirindo com o tempo, coesão e resistência.

A mistura entre cimento e água é denominada pasta, que tem como função envolver os agregados e preencher os vazios formados. Ao adicionar um agregado miúdo à pasta, é formada a argamassa, e por fim, o concreto é obtido pelo conjunto entre a argamassa e o agregado graúdo (PETRUCCI, 1998).

Para Isaia (2007), ao combinar o Cimento Portland com a água, é formada uma mistura fluida, em que o nível de fluidez depende da quantidade de água adicionada. Para a produção do concreto de cimento Portland, além do cimento e dos já citados agregados graúdos e miúdos, é possível ainda utilizar fibras, pigmentos e aditivos, sendo que as quantidades variam de acordo com as propriedades buscadas.

### 2.2. COMPONENTES DO CONCRETO

#### 2.2.1. Cimento

O cimento Portland, constituinte mais importante do concreto, é o resultado da moagem de um produto denominado clínquer, que tem como matéria-prima o calcário e a argila. Ele é formado por silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem presença de cal livre. Esses silicatos e aluminatos se hidratam quando são misturados com água, produzindo o endurecimento da massa e o ganho de resistência buscado (PETRUCCI, 1998).



O cimento é um material em pó fino que possui características aglutinantes, aglomerantes e ligantes. Após a mistura dos componentes e seu endurecimento, o concreto não é decomposto se entrar novamente em contato com a água (ABCP, 2002). Para Martinez (2006), o endurecimento é um fenômeno que se inicia a partir do momento que a pasta começa a adquirir consistência, deixando de ser fluida e tornando-se sólida.

### **2.2.2. Agregados**

Martinez (2006) define os agregados, constituinte que apresenta entre 60% e 80% do volume do concreto, como um conjunto de grãos naturais que podem ser tanto processados como manufaturados, os quais são apresentados em sequência de diferentes tamanhos, sendo interligados por um material aglomerante que formam as argamassas e concretos. Petrucci (1998) descreve os agregados como materiais granulares, geralmente inertes, sem volume ou forma definida, necessitando de dimensões e formas adequadas para seu emprego nas obras.

Neville e Brooks (2010) afirmam que em torno de 75% do volume do concreto é composto por agregados, sendo importante levar em consideração a qualidade dos materiais que serão utilizados na mistura, pois suas propriedades influenciam diretamente no produto final.

Segundo Petrucci (1998), a função dos agregados é contribuir com grãos que resistam aos esforços solicitados, ao desgaste e à ação de intempéries, redução das variações de volume e redução do custo.

Conforme Mehta e Monteiro (2008), os agregados são caracterizados em três grupos: quanto à dimensão, podendo ser entre agregado graúdo e miúdo; quanto à densidade, variando entre agregados leves, normais e pesados; e quanto a sua origem, podendo ser classificados em agregados minerais naturais e artificiais.

A NBR 7211 (ABNT, 2019) classifica o agregado miúdo como os grãos passantes pela peneira de abertura de 4,75mm e os grãos retidos na peneira de abertura de 150 $\mu$ m. O agregado graúdo é classificado como os grãos passantes na peneira de malha de 75mm e retidos na peneira de abertura 4,75mm.

### **2.2.3. Água**

Para Neville e Brooks (2010), é importante levar em consideração a qualidade da água utilizada pois as impurezas presentes na mesma podem interferir na pega do cimento, diminuir a resistência do concreto ou causar manchas superficiais, podendo ainda causar a corrosão das armaduras.

A quantidade de água utilizada na mistura da pasta influencia diretamente no tempo de pega, para quantidades maiores de água utilizada, verificou-se tempos de início de pega menores. O tempo de início de pega é definido pelo tempo decorrido entre a adição da água até o início das reações com os compostos do cimento, já o tempo de fim de pega é definido pelo momento em que a pasta cessa de ser deformável para pequenas cargas e se torna um bloco rígido (PETRUCCI, 1998).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a relação entre a quantidade de água adicionada e a quantidade de cimento utilizada na mistura do concreto é importante e influencia no resultado final de sua resistência. Tango (1994) afirma que para os concretos plásticos, uma quantidade menor de água na mistura, ou seja, diminuir a relação água/cimento ( $a/c$ ), torna o concreto mais resistente a esforços mecânicos.

#### **2.2.4. Adições**

De forma abrangente, o termo adição é usado para se referir a qualquer tipo de material que além de, água, agregados e cimento, é incorporado como componente do concreto, sendo adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura. Normalmente as adições são materiais que possuem área superficial elevada, interferindo no comportamento reológico do concreto logo que adicionado, alterando a trabalhabilidade do concreto fresco (MALHOTRA e METHA, 1996).

Para Malhotra e Metha (1996), os benefícios obtidos a partir da utilização de adições podem ser categorizados em três grupos:

- a) Benefícios de engenharia: o aumento de finos na distribuição granulométrica do concreto tende a melhorar a trabalhabilidade e a reduzir a quantidade de água necessária para atingir a consistência desejada, aumentando a resistência a compressão e a ataques químicos, além de reduzir a permeabilidade;
- b) Benefícios econômicos: O componente mais caro do concreto é o cimento Portland, algumas adições reduzem a quantidade de cimento necessária na mistura, diminuindo o preço final do produto;

- c) Benefícios ecológicos: A maior parte dos rejeitos e subprodutos utilizados como adições contém em sua composição substâncias tóxicas, poluentes ou patogênicas que se descartadas de forma inadequada, podem prejudicar o meio ambiente.

Dal Molin (2005) classifica as adições em grupos de acordo com suas características físico-químicas:

- a) Material cimentante: São os materiais que não necessitam do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland para adquirir características cimentantes. A auto hidratação é geralmente lenta, além da quantidade de compostos cimentantes formados o tornarem incapaz de ser aplicado para fins estruturais.
- b) Material Pozolânico: É caracterizado como um material silicoso ou sílico-aluminoso, que naturalmente não possui propriedades cimentícias, entretanto, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, formando compostos com propriedades cimentantes;
- c) Material não reativo: É o filler, definido por um material finamente dividido, sem atividade química. Sua função é auxiliar no empacotamento granulométrico, preenchendo os vazios aumentando a compactidade, refinando os poros da mistura.

### **2.2.5. Aditivos**

Petrucci (1998) define os aditivos como substâncias adicionadas ao concreto com a finalidade de reforçar ou melhorar certas características, facilitando o seu preparo e utilização. Martinez (2006) afirma que o uso descontrolado de aditivos durante a produção do concreto pode acarretar em efeitos mais prejudiciais que benéficos. De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), aditivos são produtos adicionados durante a preparação do concreto que tem objetivo de alterar as propriedades do concreto no estado fresco e/ou endurecido, sendo que sua quantidade não ultrapassa 5% da massa de material cimentício contido na mistura.

### **2.3. ARROZ**

O arroz é um cereal cujo processo evolutivo adaptou as variadas condições ambientais, além de ser cultivado em todos os continentes por cerca de 120 países, é também produzido e

consumido em todo o Brasil, tornando um hábito inquestionável para a população e que dificilmente será substituído (GURGEL, 2012).

A produção brasileira de arroz na safra de 2017/2018 foi de 11,765 milhões de toneladas, uma queda de 3% em comparação com o ano anterior, que teve uma produção de 12,129 milhões de toneladas e uma alta expressiva de 14,4% em comparação com o ano de 2015/2016. Santa Catarina colheu 1,183 milhões de toneladas do cereal em 2017/2018, ficando apenas atrás do Rio Grande do Sul que colheu 8,475 milhões de toneladas e é o maior produtor nacional (SOSBAI, 2018).

O beneficiamento do arroz gera resíduos como: palhas, grãos quebrados e casca. As cascas não possuem aplicação direta devido ao baixo teor de nutrientes, alto caráter abrasivo, baixa densidade, alto teor de cinzas e alta resistência a degradação (MARTINEZ, 2006). Para Souza e Yamamoto (1999), a casca de grãos de arroz é um material proveniente do processo de refinamento do cereal, não tendo valor comercial pois contém baixo valor nutritivo. Sendo assim é considerado um rejeito agrícola e requer atenção no seu armazenamento, pois possui baixa densidade envolvendo grandes volumes.

Segundo Gurgel (2012), os constituintes básicos da casca de arroz *in natura* são: Celulose (50% em peso), Lignina (30% em peso) e Resíduos inorgânicos (20% em peso). Vale salientar que as porcentagens apresentadas podem apresentar variação dependendo da espécie, clima e região geográfica da plantação (GURGEL, 2012).

Considerando valores aproximados, a massa unitária da casca de arroz *in natura* é de 101 kg/m<sup>3</sup>, a massa específica aparente é de 900 Kg/m<sup>3</sup> e a massa específica é 1400 Kg/m<sup>3</sup> (AGOPYAN, 1991).

Bauer (1995 *apud* MARTINEZ, 2006), ao estudar o efeito da celulose e a lignina que se encontram presentes na casca de arroz *in natura*, descobriu que ambos tendem a reagir com o cimento, proporcionando boa aderência ao longo do tempo.

### **2.3.1 Celulose**

Segundo Martinez (2006), a celulose constitui entre 40 e 50% de quase todas as plantas, sendo o composto orgânico mais comum na natureza. Ela está localizada principalmente na parede secundária das células vegetais, servindo como principal componente estrutural extracelular das paredes celulares rígidas e dos tecidos fibrosos e lenhosos dos vegetais. As moléculas de celulose são lineares e possuem grande tendência para formar pontes de

hidrogênio. As estruturas primárias formadas pelas pontes de hidrogênio geram as fibrilas, que formam as camadas da parede celular (MARTINEZ, 2006).

A celulose, apesar de insolúvel em água, possui grande afinidade com a mesma. Quando se encontra em estado seco, absorve a umidade do ar até encontrar o equilíbrio com a atmosfera.

### **2.3.2 Lignina**

Para Gurgel (2012), a lignina, substância polimérica formada por álcoois aromáticos, compõe em 30% do peso da casca de arroz *in natura*. Este composto é considerado de estrutura complexa e é encontrado exclusivamente dentro da parede celular.

A lignina possui papel importante no transporte de água e nutrientes, sendo responsável pela resistência mecânica dos vegetais e também por proteger os tecidos contra os ataques de microrganismos. Vegetais primitivos como algas, fungos e líquens não possuem lignina. (FENGEL; WEGENER, 1984).

## **2.4. PROPRIEDADES DO CONCRETO**

### **2.4.1. Trabalhabilidade**

Petrucci (1998) define a trabalhabilidade, característica muito importante do concreto, como a capacidade do mesmo fluir, sem perder a sua homogeneidade, sendo que os fatores que influenciam na trabalhabilidade podem ser tanto internos como externos. Os fatores internos englobam a composição da mistura, dentre elas a relação de água e cimento e a relação entre agregados graúdos e miúdos. Os fatores externos estão ligados ao modo de mistura e ao modo de transporte, podendo ser através de bombas, guinchos ou calhas. Para Neville e Brooks (2013), trabalhabilidade é a energia necessária para vencer o atrito interno entre as partículas do concreto, em busca do seu adensamento total.

Para Balbo (2009), dois conceitos importantes ao se falar em trabalhabilidade estão conectados e merecem atenção, a segregação e a exsudação. O primeiro trata do movimento de partículas grosseiras do concreto em sentido descendente, separando as frações grossa e fina, causando a perda de homogeneidade. O fenômeno da exsudação é a tendência do movimento ascendente de partículas finas, pois quando os constituintes sólidos são assentados em direção ao fundo, são incapazes de reter água (BALBO, 2009).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), quando em estado fresco o concreto apresenta resistência plástica, além de tornar possível trabalhar de diferentes formas, também favorece a entrada em moldes de variados tamanhos. Após algumas horas de cura é possível tirar as formas, pois ele se torna uma massa rígida.

#### **2.4.2. Resistência à compressão**

A principal característica do concreto é a resistência à compressão simples, quanto maior a quantidade de cimento contido na mistura, maior será a resistência. Essa variação ocorre devido a relação água/cimento (a/c) (RECENA e SERRA, 2002). Para Neville e Brooks (2010), a resistência à compressão de um concreto geralmente dá uma ideia da sua qualidade, uma vez que a resistência está diretamente ligada à estrutura da pasta de cimento.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a resistência de um concreto está relacionada com a tensão necessária para o seu rompimento, podendo ser definida como a tensão máxima que o concreto pode suportar. A resistência é um parâmetro que geralmente é especificado nos concretos por ser um ensaio relativamente mais simples que os demais, além de ser possível obter outras propriedades a partir da mesma, como módulo de elasticidade, impermeabilidade e resistência a intempéries (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Classificando os concretos de acordo com sua respectiva resistência à compressão, Mehta e Monteiro (2008) separam em três categorias:

- a) Concretos de baixa resistência: menores que 20MPa;
- b) Concretos de resistência moderada: entre 20MPa a 40MPa;
- c) Concretos de alta resistência: maiores que 40MPa.

Ainda para Mehta e Monteiro (2008), o tipo de concreto mais utilizado na maioria das obras estruturais é o de moderada resistência, ele também é chamado de concreto normal ou comum, sendo que os concretos de alta resistência são utilizados apenas em casos especiais.

#### **2.4.3. Porosidade**

Segundo Neville (1997), a porosidade é a característica de apresentar poros ou vazios, sendo definida pela porção de espaços vazios de um volume total de uma amostra de concreto porosa. A porosidade é representada pela sua quantidade, tamanho, formas e a distribuição por

diâmetro, sendo que a sua presença pode diminuir a resistência nos concretos (NEVILLE, 1997).

Segundo Lodi (2006), a porosidade pode ser categorizada de duas maneiras, aberta e fechada, considerando que a primeira ocorre quando os poros estão conectados por canais e também com o meio externo, a fechada ocorre quando não há conexão entre os poros. Os vazios existentes nos concretos são preenchidos por ar durante os períodos mais secos e durante os períodos mais úmidos, a água pode substituir o ar, adquirindo o equilíbrio (LODI, 2006).

De acordo com Reinhardt (1992), a relação água/cimento de um concreto é diretamente proporcional a quantidade de vazios existentes e ao volume de vazios de diâmetros maiores. Ainda para Helene (1993), a distribuição e a intercomunicabilidade entre os poros é mais importante que o tamanho, diâmetro e quantidade.

#### **2.4.4. Permeabilidade**

Para Martinez (2006), a permeabilidade é a capacidade do material permitir a penetração da água através dos seus vazios e poros, ou seja, a capacidade de um material ser permeável. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a permeabilidade de um concreto à água depende do traço utilizado na mistura, o qual determina o volume, tamanho e continuidade dos poros. Se utilizada uma relação alta entre água/cimento e um baixo grau de hidratação, ocorrerá como consequência uma porosidade capilar alta, com poros grandes e conectados, sendo assim um concreto com alta permeabilidade.

Neville e Brooks (2010) afirmam que os agregados também possuem grande influência na permeabilidade, pois de acordo com sua granulometria a porosidade pode aumentar, fazendo com que a permeabilidade também cresça, além da possibilidade de fissuras no processo de cura no entorno das partículas do agregado.

#### **2.4.5. Durabilidade**

Mehta e Monteiro (2008) definem a durabilidade como a capacidade do concreto resistir e preservar sua forma, qualidade e capacidade de uso inicial quando expostos à processos de deteriorações. Para Recena e Serra (2002), a durabilidade do concreto está sujeita às condições do local onde o mesmo está inserido e de como será mantido, além de fatores originados desde sua produção, como porosidade, processos de adensamento e cura.

Conforme Mehta e Monteiro (2008), uma grande vantagem do concreto em relação à materiais como aço e madeira, é que este não sofre graves danos quando em contato com a água, ou seja, o concreto tem certa resistência à umidade.

## 2.5. SEGREGAÇÃO

Conforme Martinez (2006), o processo de segregação ocorre em agregados com grande diferença entre massas específicas. Nos testes realizados por Martinez, que produziu placas pré-moldadas de argamassa armada com a presença de casca de arroz, a areia lavada e a casca de arroz, possuíam respectivamente  $1,46 \text{ kg/dm}^3$  e  $0,135 \text{ kg/dm}^3$  de massa específica. Há uma tendência natural da separação entre a casca de arroz e os outros componentes durante o período de mistura e lançamento, entretanto isso não ocorreu tanto para os corpos-de-prova cilíndrico como também para as placas armadas do estudo realizado.

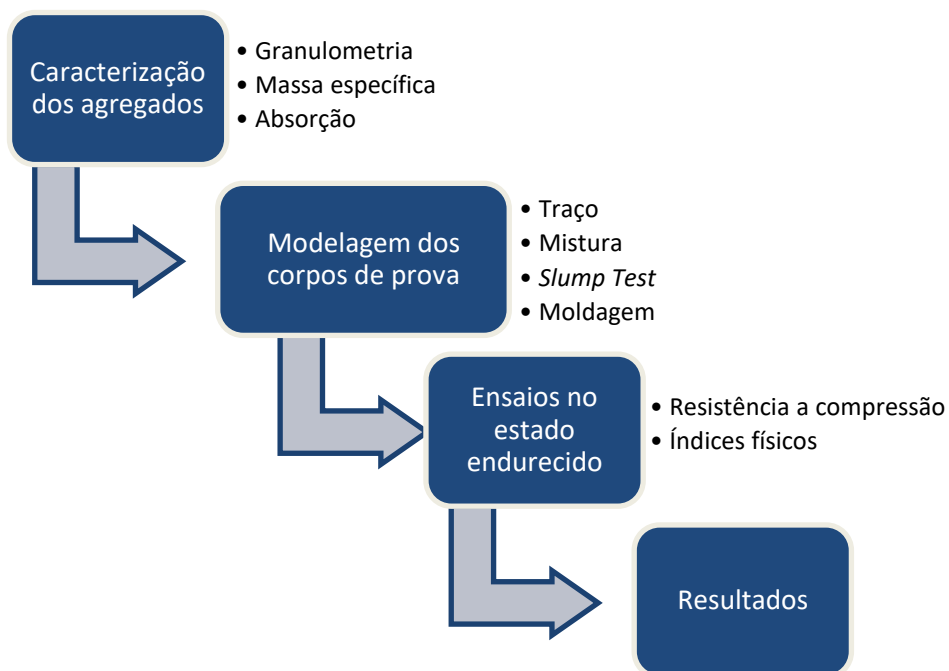
Martinez (2006) supõe que o não aparecimento da segregação se dá ao fato da ação da cal hidratada sobre a celulose em meio aquoso. Neste processo, ocorre a formação de um gel de cal hidratada com celulose, que quando somado ao gel do cimento e aglomerados, torna-os miscíveis, permitindo a aglutinação do agregado pesado com o agregado leve.



### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo estão detalhadas as metodologias que foram utilizados no desenvolvimento experimental desta pesquisa, sendo que os métodos adotados foram baseados na literatura e as normas regulamentadoras de acordo com os órgãos competentes. Os procedimentos que compõem este experimento estão apresentados no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Etapas para a execução do trabalho.



Fonte: Autor (2020).

### 3.1 MATERIAIS

#### 3.1.1 Cimento

O cimento utilizado neste trabalho foi o CPV-ARI, de alta resistência inicial fornecido pela empresa Votorantim. As características do mesmo estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do Cimento CP V ARI.

Tipo de Cimento	Sigla	Clínquer + Gesso	Metal Carbonático	Norma Brasileira
Alta Resistência Inicial	CP V ARI	100-95	0-5	NBR 5733

Fonte: Autor, 2020.

### 3.1.2 Agregados

Tanto a areia natural como a brita zero utilizadas neste trabalho foram fornecidas pelo Laboratório Interdisciplinar de Construção da UFSC, Campus Joinville. A casca de arroz foi fornecida por um produtor de arroz da região de Criciúma-SC.

Figura 2 - Agregados utilizados no experimento.



Fonte: Autor (2020)

### 3.1.3 Água

A água utilizada para a confecção dos corpos-de-prova é tratada e fornecida pela companhia Águas de Joinville, responsável pela rede de abastecimento do município.

## 3.2 DOSAGEM DO CONCRETO

Conforme a NBR12655 (ABNT, 2006) – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento, no seu item 3.1.30, o estudo da dosagem é definido como os procedimentos necessários para obter o traço do concreto, atendendo aos requisitos especificados pelo projeto estrutural e pelas condições da obra, e também no seu item 3.1.3,

define dosagem como a proporção dos materiais constituintes do concreto para produção de certo volume.

Para a elaboração deste estudo o método de dosagem selecionado pelo autor foi o CIENTEC, apresentado por Recena (2014). Esta metodologia é considerada empírica, onde a trabalhabilidade do concreto não é um parâmetro pré-definido, pois o resultado depende das características dos materiais empregados na mistura. Inicialmente, foi confeccionado um concreto de referência, sem adição da casca de arroz, e em seguida, foram elaboradas amostras com os diferentes percentuais de substituição. Neste estudo, a porcentagem de substituição de casca de arroz *in natura* pelo agregado miúdo foi de 5% e 10%. As características utilizadas para definição da dosagem deste concreto se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Características utilizadas para definir dosagem.

fck (Mpa)	30
Tipo do cimento	CPV ARI
Brita	0
Areia	Média
Origem da rocha	Granítica

Fonte: Autor (2020)

A proporção água/cimento foi obtida a partir da equação de Abrams, que leva em consideração a resistência característica do concreto à compressão. O cálculo para encontrar a relação (a/c) para determinado concreto utilizando fck aos 28 dias é dado pela Equação 1. Depois de definida a relação água/cimento, foi necessário descobrir a porcentagem de água a ser empregada (H), dado obtido através da correlação entre o tipo de cimento e a classificação da brita utilizada, como mostrado na Tabela 3.

$$(a/c) = \frac{2,15 - \log fck(28)}{1,27} \quad (1)$$

Tabela 3 - Percentual de água a ser utilizada em relação a quantidade de materiais secos (H).

Tipo do cimento	Classificação da brita	H (%)
CPV ARI	0	10.2

Fonte: Adaptado de Recena (2014).

Com os valores da relação água/cimento e o percentual de água a ser empregada (H) encontrados, foi possível encontrar a proporção de materiais secos utilizando a Equação 2. Segundo Recena (2014), para se obter o menor custo com o concreto a partir da Equação 2, o

traço unitário deve apresentar o maior  $m$ , ou seja, a maior quantidade de agregados por unidade em massa de cimento. Isso pode ser atingido a partir do aumento da relação água/cimento e/ou da redução do  $H$ .

$$(1 + m) = \frac{[100 \times (a/c)]}{H} \quad (2)$$

Onde:

$(1 + m)$  = Soma das parcelas de areia e agregado graúdo;

$H$  = Quantidade de água utilizada em 100 partes de material seco/materiais secos obtido pela Tabela 1.

Para o cálculo do teor de cimento (% Cimento), foi adotado que  $(1 + m)$  representa 100% do material seco, a porcentagem necessária de cimento, em relação a proporção de materiais é obtida fazendo uma regra de três simples conforme Equação 3.

$$\begin{aligned} (1 + m) &\leftrightarrow 100\% \\ 1 &\leftrightarrow (\% \text{ Cimento}) \end{aligned} \quad (3)$$

Para o cálculo do percentual de areia, inicialmente é necessário definir o teor de argamassa ( $\alpha$ ), o qual depende da natureza da rocha e da classificação da brita, de acordo com a Tabela 4, sendo que o teor de areia (% areia) é calculado a partir da Equação 4.

Tabela 4 - Porcentagem do teor de argamassa ( $\alpha$ ).

Natureza da rocha	Classificação da brita	Teor de argamassa (%)
Granítica	0	60%

Fonte: Adaptado de Recena (2014).

$$\% \text{ Areia} = \alpha - (\% \text{ Cimento}) \quad (4)$$

O teor de agregado graúdo (% Brita) é obtido a partir da diferença entre a porcentagem total de material seco e o teor de argamassa, de acordo com a Equação 5.

$$(\% \text{ Brita}) = 100\% - \alpha \quad (5)$$

A dosagem unitária do concreto é obtida a partir da Equação 6, sendo encontrada a partir da divisão das porcentagens de areia e brita pelo teor de cimento, e a obtenção da relação água/cimento já foi mencionada anteriormente.

$$\text{Traço} = \left( \frac{\% \text{ Areia}}{\% \text{ Cimento}} \right); \left( \frac{\% \text{ Brita}}{\% \text{ Cimento}} \right); \left( \frac{\% \text{ Água}}{\% \text{ Cimento}} \right) \quad (6)$$

### 3.3 GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS

Os procedimentos para determinar a granulometria dos agregados foram realizados no Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável da UFSC, sendo normatizados conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Com os resultados obtidos a partir do ensaio é possível traçar uma curva granulométrica dos materiais,

Inicialmente, os agregados foram secos em estufa com temperatura em torno de 105°C. Finalizado o quartamento, foi necessário encontrar a Dimensão Máxima Característica (DMC) dos agregados, grandeza definida pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) como sendo a abertura nominal da malha da peneira a qual o agregado apresenta uma porcentagem retida inferior a 5% em massa. Depois de encontrada a DMC é possível estabelecer a quantidade mínima de material necessária para a realização do ensaio, que neste caso foi 1kg para cada amostra, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Massa mínima necessária para amostra de ensaio.

Dimensión máxima nominal del agregado / Dimensão máxima nominal do agregado mm	Masa mínima de la muestra de ensayo / Massa mínima da amostra de ensaio kg
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

(\*) Después del secado. / Após secagem.

Fonte: NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Com a massa mínima de material determinada, o passo seguinte foi determinar as peneiras utilizadas no ensaio, sendo que neste caso foram utilizadas as peneiras de 9.5mm; 6.3mm; 4.75mm; 2.36mm; 1.18mm; 0.6mm; 0.3mm; 0.15mm e 0.075mm, além do fundo. As

peneiras são agrupadas de acordo com o tamanho da malha, empilhando a partir do fundo, da peneira de menor para a de maior abertura. Tendo as peneiras montadas e a massa de material necessária separada e seca em estufa, é possível realizar o ensaio, despejando o material na parte superior das peneiras e agitando, sendo que isso pode ser feito tanto de forma manual como mecânica, que foi o caso neste ensaio. Após esse processo, o material retido nas peneiras e fundo são pesados individualmente com o auxílio de uma balança digital.

### 3.4 MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

O ensaio para obter a massa específica dos agregados miúdos para utilização no concreto foi determinado de acordo com a DNER-ME 194/98. A massa específica é determinada pela relação entre o volume de sólido e a massa de agregado seco em estufa até sua estabilização, não deixando de considerar os poros impermeáveis.

Para a realização do ensaio, foi utilizado um frasco do tipo Chapman com capacidade graduada de 450cm<sup>3</sup> e uma balança de precisão. Inicialmente foram colocados 200cm<sup>3</sup> de água no frasco com o auxílio de um funil, deixando-o em repouso para que as faces internas escorressem totalmente, e em seguida, foi introduzido 500g do material no frasco e logo agitados para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível d'água obtido pelo conjunto água-agregado indica o volume ocupado em cm<sup>3</sup>. A massa específica do agregado miúdo foi calculada pela Equação 7.

$$\gamma = \frac{500}{(L-200)} \quad (7)$$

Onde:

$\gamma$  = Massa específica do agregado miúdo em g/cm<sup>3</sup>;

L = Leitura no frasco do conjunto água-agregado.

Para encontrar a absorção de água do agregado miúdo foi utilizado o método apresentado por Bennack (2016). Para este ensaio, foi escolhido um molde metálico com volume conhecido de 318,09 cm<sup>3</sup> para o condicionamento do material.

Inicialmente, o preenchimento do molde foi feito em camadas de agregado miúdo com o auxílio de um soquete. Feito isso, o frasco Chapman é preenchido com 200cm<sup>3</sup> de água, da mesma maneira que o ensaio anterior, sendo então adicionada a areia. A mistura ficou 72 horas em repouso para total absorção das partículas, após este período foi possível obter a leitura final

do conjunto. O volume de água absorvido pelo agregado é obtido através da soma entre o volume de água inicial e agregado, menos o volume final do conjunto após as 72 horas. A Equação 8 foi utilizada para calcular a absorção de água.

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(V_{abs})}{(V_{\text{água}} + V_{\text{agregado}})} * 100 \quad (8)$$

Onde:

$V_{abs}$  = Volume de água absorvido pelo agregado ( $\text{cm}^3$ );

$V_{\text{água}}$  = Volume de água adicionado no ensaio ( $\text{cm}^3$ );

$V_{\text{agregado}}$  = Volume de agregado miúdo adicionado no ensaio ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.5 MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

Os procedimentos utilizados para determinar a massa específica e absorção do agregado graúdo seguiram as normativas da ABNT/NBR NM53 (2009).

Para este ensaio uma amostra de 2kg de brita zero foi separada e em seguida submersa em água com temperatura ambiente durante 24 horas. Posteriormente, a amostra foi retirada e transferida para um cesto vazado, o qual foi acoplado na parte inferior da balança digital com precisão de 0,1 g, sendo então submerso novamente e tornando possível a obtenção da massa de agregado em água. Finalizada a pesagem em água, o agregado foi retirado e então secado superficialmente, sendo então obtida a massa de agregado saturado com superfície seca. O passo seguinte consistiu na retirada da amostra de agregado para colocá-la na estufa com temperatura média de  $105^{\circ}\text{C}$ , sendo retirada quando a massa de agregado se tornou constante, obtendo-se então a massa de agregado seco. A massa específica do agregado saturado com superfície seca ( $M_{e,sss}$ ) é dada pela Equação 9.

$$M_{e,sss} = (\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{M_s}{M_s - M_a} \quad (9)$$

Onde:

$M_s$  = Massa ao ar da amostra na condição saturada com superfície seca (g);

$M_a$  = Massa em água da amostra (g).

A massa específica do agregado seco ( $M_{e,s}$ ) foi obtida a partir da Equação 10.

$$M_{e,s} = (g/cm^3) = \frac{M}{M - M_a} \quad (10)$$

Onde:

M = Massa ao ar da amostra seca em estufa (g);

$M_a$  = Massa em água da amostra saturada (g).

A absorção do agregado graúdo é então encontrada utilizando a Equação 11.

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{M_s - M}{M} * 100 \quad (11)$$

Onde:

$M_s$  = Massa ao ar da amostra na condição saturada com superfície seca (g);

M = Massa ao ar da amostra seca em estufa (g).

### 3.6 MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

A Norma Brasileira NBR 5738 (ABNT, 2015) regulamenta o procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova. Para a confecção e moldagem, são necessários equipamentos e acessórios como: betoneira, balança de precisão, peneirador, contador de golpes e os moldes.

Inicialmente, foi necessário identificar os moldes e aplicar uma camada de óleo fina nas paredes internas dos mesmos. Com o traço e a quantidade de material necessária para cada composição obtida, foi possível iniciar a mistura dos materiais, iniciando com metade da quantidade de água necessária, em seguida, brita, areia, casca de arroz e o restante da água. O tempo de mistura dentro da betoneira deve ser igual para todas as formulações, mantendo um padrão, sendo que a mistura precisa ser interrompida para a execução do ensaio de abatimento de cone (*Slump Test*). Finalizando o ensaio, o material é recolocado na betoneira para continuar a mistura.



Os moldes cilíndricos necessitam ter altura igual ao dobro do diâmetro, sendo permitido diâmetros de 10, 15, 20, 25, 30 ou 45 cm. Neste trabalho, os moldes possuem 10 cm de diâmetro e sua altura é de 20 cm. O número de golpes e camadas depende do tamanho do molde, neste caso, foram 2 camadas com 12 golpes cada, tomando cuidado para que a camada inferior não fosse atingida. Com as camadas prontas, foi necessário rasar os corpos-de-prova. Após 24 horas da cura inicial, os CP's foram desmoldados, sendo realizados os ensaios no estado endurecido aos 28 dias de cura.

Figura 4 - Corpos de prova moldados após processo de concretagem.



Fonte: Autor (2020).

### 3.7 TRABALHABILIDADE

O *Slump Test*, também conhecido por ensaio abatimento de tronco de cone, é normatizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). Este ensaio visa determinar a consistência do concreto fresco através da medida do seu assentamento ao retirar o molde metálico. De acordo com a norma, o molde deve ter formato de um tronco de cone oco, com dimensões internas: diâmetro da base inferior =  $200\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ; diâmetro da base superior =  $100\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ; altura =  $300\text{mm} \pm 2\text{mm}$ .

Inicialmente, foi necessário umedecer o molde e a base utilizada para o ensaio com água, com os materiais já misturados, foi feito o preenchimento do concreto no molde em três camadas de tamanhos iguais, cada camada foi compactada com 25 golpes com o auxílio de uma haste, sendo que os golpes foram distribuídos de forma uniforme. Ao final da compactação, a superfície do concreto foi rasada e então o molde pôde ser retirado e colocado ao lado do concreto abatido, sendo possível medir a diferença entre as alturas do molde e do concreto, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Diferença entre a altura do molde e o concreto abatido.



Fonte: Autor (2020).

### 3.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados na empresa Perville Engenharia e Empreendimentos S.A devido à disponibilidade da empresa em ceder o equipamento para o teste. O ensaio de resistência à compressão é normatizado pela NBR 5739 (ABNT, 2018), sendo que para a realização do mesmo é necessário um equipamento para compressão que possua um

sistema de medição de forças, que pode ser analógico ou digital. As faces dos corpos-de-prova necessitam ser retificadas para haver total paralelismo entre as faces do CP e os pratos de compressão. Além de que a carga utilizada durante o carregamento deve ser aplicada continuamente e sem choques, evitando alterações nos resultados.

Os resultados fornecidos pelo equipamento são dados pela força máxima suportada pelo corpo-de-prova até seu rompimento. A resistência à compressão é então obtida dividindo a carga de ruptura pela área da seção transversal do CP, dado pela Equação 12, sendo necessário o resultado ser expresso com aproximação de 0,1 MPa.

$$\sigma = \frac{F}{(\pi \times R^2)} \quad (12)$$

Onde:

$\sigma$  = Resistência à Compressão (MPa);

F = Força máxima alcançada no ensaio (N);

R = Raio do Corpo-de-Prova (mm).

### 3.9 PROPRIEDADES FÍSICAS

Para obter as propriedades físicas de um concreto como a porosidade aberta, absorção de água e densidade aparente, é necessário seguir as especificações conforme a NBR 9778 (ABNT, 2009) para a realização do ensaio de Arquimedes. As equações necessárias para o cálculo destes índices físicos estão expostas a seguir.

$$\text{Porosidade aberta (\%)} = \frac{(M_{ss}-M)}{(M_{ss}-M_i)} * 100 \quad (13)$$

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{(M_{ss}-M)}{M} * 100 \quad (14)$$

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = \frac{M}{M_{ss}-M_i} \quad (15)$$

Onde:

$M_{ss}$  = Massa saturada em superfície seca (g);

$M_i$  = Massa imersa em água (g);

$M$  = Massa seca em estufa (g).

Os corpos-de-prova que foram rompidos devido ao ensaio de resistência à compressão foram coletados e em seguida parte de seus fragmentos foram selecionados e mantidos em estufa a 105°C por 24 horas. Após esse tempo, foram retirados os pedaços da estufa e deixados em temperatura ambiente para que os mesmos atingissem massa constante, para então serem pesados e ser possível determinar a massa seca em estufa ( $M$ ).

Finalizadas as pesagens de cada formulação, os fragmentos foram imersos separadamente em água por 72 horas, sendo que a massa imersa em água ( $M_i$ ) foi obtida utilizando-se do mesmo método mencionado para obter a massa imersa em água do agregado graúdo. Para obter a massa saturada com superfície seca ( $M_{ss}$ ), os fragmentos foram secos superficialmente e então suas massas foram registradas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 DOSAGEM REFERÊNCIA

Os resultados encontrados para a dosagem referência de acordo com a metodologia citada, estão apresentados na Tabela 5, bem como as formulações e suas substituições na Tabela 6. Devido à grande diferença de massa específica encontrada nos ensaios entre a casca de arroz e os outros agregados, foi escolhido fazer a substituição por volume ao invés da tradicional substituição por peso, gerando um concreto mais leve com o aumento da porcentagem de substituição.

Tabela 5 - Traço do concreto referência.

Material	Cimento	Areia	Brita	Água
%	19,27	40,73	40	10,2
Traço	1	2,11	2,08	0,53

Fonte: Autor (2020).

Tabela 6 - Peso dos materiais que compõem cada formulação.

Substituição (%)	Total (g)	CPV ARI (g)	Areia (g)	Casca de arroz (g)	Brita 0 (g)	Água (g)
0	20000	3500	7380	0	7270	1850
5	19647,82	3500	7011	16,82	7270	1850
10	19295,64	3500	6642	33,64	7270	1850

Fonte: Autor (2020).

### 4.2 GRANULOMETRIA

Após a conclusão dos ensaios de granulometria, além da dimensão máxima característica (DMC) e do gráfico gerado pelos resultados obtidos, também é possível definir o módulo de finura dos agregados, os quais estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Características dos agregados.

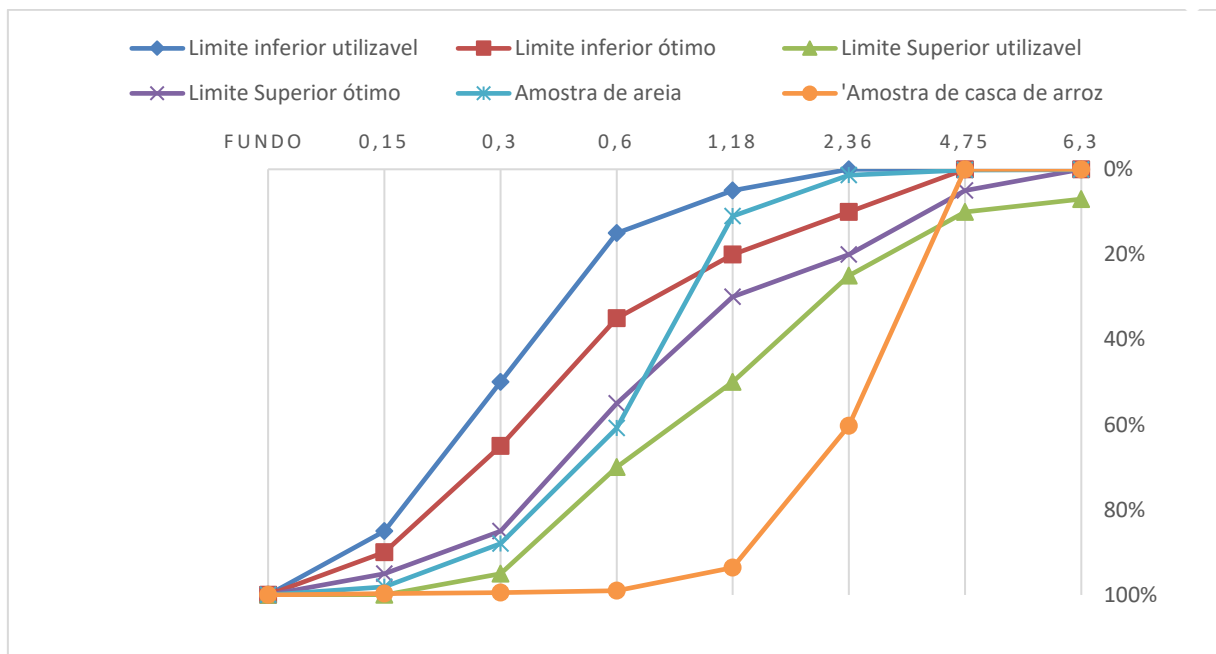
Material	Areia	Casca de arroz	Brita 0
Módulo de finura	2,59	4,52	6,49
DMC (mm)	2,36	4,75	9,5

Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 1 apresenta a distribuição granulométrica dos agregados miúdos utilizados nos ensaios, sendo que o eixo horizontal representa o diâmetro de abertura das peneiras, e o eixo vertical as porcentagens de material retido acumulado nos respectivos diâmetros de abertura.

Devido a considerável diferença de massa específica entre a casca de arroz e os outros agregados, não seria viável utilizar o peso determinado de acordo com a norma para o ensaio granulométrico da casca de arroz, com isso, foi determinado o volume de 1 kg de areia, massa utilizada para uma amostra do ensaio deste material, para determinar o mesmo volume em casca de arroz, utilizando o valor encontrado para o ensaio de granulometria.

Gráfico 1 - Curva gerada pelo ensaio de granulometria dos agregados miúdos.



Autor (2020).

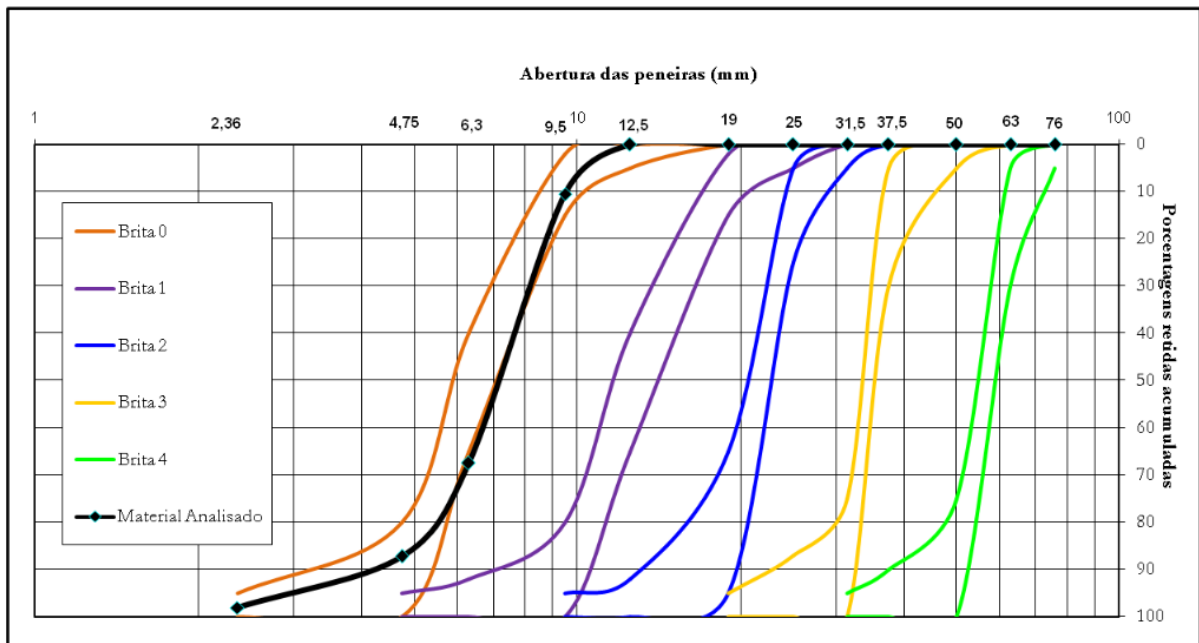
Analisando os resultados obtidos pela curva granulométrica, é possível notar que a areia utilizada neste ensaio está dentro dos parâmetros desejáveis para utilização no concreto. Apesar de que em apenas um pequeno intervalo entre as peneiras de 0.6mm e 1.18mm, a areia está dentro dos parâmetros ótimos, boa parte da sua curva granulométrica está próximo destes limites. A casca de arroz não apresenta uma boa distribuição granulométrica, estando boa parte acima do limite superior utilizável. A curva granulométrica da casca de arroz se encontra dentro dos limites satisfatórios apenas próximo da peneira de 4.75mm.

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), o módulo de finura da areia natural utilizada para este ensaio se encontra dentro dos limites ótimos, que varia de 2,20 até 2,90. Ainda levando

em consideração o módulo de finura, esta mesma areia é caracterizada como média, parâmetro este que varia entre 2,4 e 3,3.

A casca de arroz é classificada como muito grossa de acordo com a norma, tendo módulo de finura acima de 3,9. Este valor expressivo acaba deixando seu módulo de finura acima da zona utilizável superior, que varia entre 2,9 e 3,5.

Gráfico 2 - Granulometria do agregado graúdo.



Autor (2020).

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2019), a Dimensão Máxima Característica encontrada através do ensaio de granulometria mostra que o agregado graúdo utilizado neste ensaio condiz com a caracterização fornecida previamente, como pode ser observado no Gráfico 2.

### 4.3 MASSA ESPECÍFICA

Na Tabela 8 estão presentes os resultados obtidos das massas específicas dos agregados miúdo e graúdo. Devido à grande diferença entre a massa específica da casca de arroz e os outros agregados, existe relação de proporção inversa entre o aumento de substituição de agregado miúdo e a redução do peso específico do concreto.

Por se tratar de um material com massa específica menor que o da água, não foi possível fazer o ensaio com a casca de arroz de acordo com a norma estabelecida para agregados miúdos. Sabendo disto e tendo a massa específica da areia natural, foi possível descobrir o

volume de 500 g de areia. Utilizando-se do mesmo volume encontrado de areia para a casca de arroz e pesando este material, sendo possível encontrar a massa específica da casca de arroz dividindo sua massa pelo volume encontrado.

Por ser um material de origem vegetal, a casca de arroz possui massa específica muito menor se comparado com os outros agregados de origem mineral. Em seus estudos, Martinez (2006) definiu a massa específica da casca de arroz como sendo com  $0,135 \text{ g/cm}^3$ , valores próximos ao encontrado pelo Autor, apesar de ambos materiais serem de regiões distintas.

Tabela 8 - Massa específica dos agregados.

Brita ( $\text{g/cm}^3$ )	Areia ( $\text{g/cm}^3$ )	Casca de Arroz ( $\text{g/cm}^3$ )
2,68	2,60	0,12

Fonte: Autor (2020).

#### 4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água dos componentes do concreto influencia na trabalhabilidade do mesmo, tendo uma relação de proporção inversa entre os mesmos, a trabalhabilidade aumenta com a redução da absorção de água. A tabela 9 apresenta os resultados referentes à absorção de água do agregado graúdo e miúdo, esta grande diferença advém do fato da areia natural possuir maior área superficial devido à sua granulometria.

Utilizando os dados obtidos por Martinez (2006), o valor médio encontrado para a absorção da casca de arroz foi de 154,65%. É um valor expressivo se comparado à areia utilizada nos experimentos, influenciando na relação água/cimento da argamassa.

Tabela 9 – Resultados da Absorção de água dos agregados.

Brita (%)	Areia (%)
0,26	19,71

Fonte: Autor (2020).

#### 4.5 TRABALHABILIDADE

A tabela 10, obtida através da realização do *Slump Test*, apresenta o abatimento de cada composição de concreto estudada neste trabalho. O acréscimo de casca de arroz em substituição da areia, aumenta o abatimento de acordo com a porcentagem. Isto ocorre, pois, a



casca de arroz não possui uma boa distribuição granulométrica. Em comparação com a dosagem referência, a formulação com substituição de 5% possui um aumento de 33,3% no seu abatimento, da mesma maneira, a formulação com 10% de substituição cresce em 41,7% se comparado com a dosagem referência.

Tabela 10 - Resultados do *Slump Test* para cada porcentagem de substituição.

Substituição (%)	0	5	10
Abatimento (mm)	18	24	34

Fonte: Autor (2020).

#### 4.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados obtidos durante os ensaios de resistência à compressão estão dispostos na tabela 11. O rompimento dos corpos-de-prova ocorreu no 28º dia para todas as formulações.

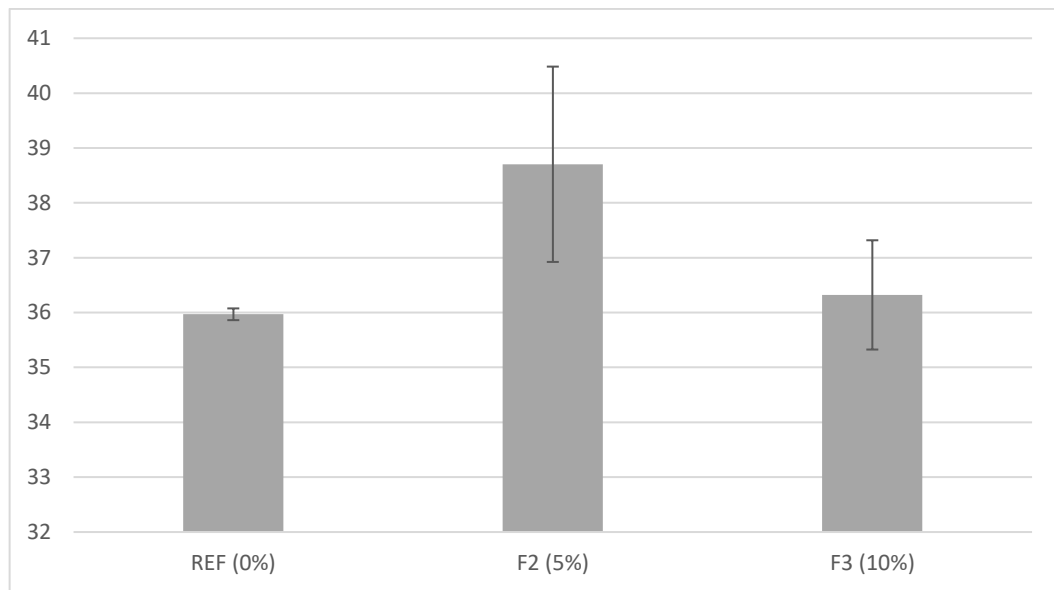
Tabela 11 - Resistência média à compressão das formulações.

Formulação	Substituição (%)	Resistência à Compressão Média (Mpa)	Desvio Padrão
REF	0%	35,969	0,107
F2	5%	38,703	1,78
F3	10%	36,322	0,996

Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 3 apresenta a média dos resultados da resistência à compressão e o desvio padrão das formulações elaboradas.

Gráfico 3 - Média e desvio padrão das resistências à compressão.



Fonte: Autor (2020).

Analisando as resistências à compressão das formulações estudadas, nota-se que F2 com 5% de substituição apresentou um acréscimo de resistência de 7,6% se comparado à formulação de referência. Apesar da média da formulação F3 se mostrar 0,98% maior que a formulação referência, a F3 possui um desvio padrão mais expressivo que a referência.

Nos trabalhos realizados por Martinez (2006) e Obilade (2014) utilizando casca de arroz *in natura*, houve uma redução na resistência à compressão das argamassas e dos concretos estudados respectivamente por cada um, sendo que ambos utilizaram cimento tipo CPII em suas formulações. Neste experimento, foi possível notar um leve acréscimo na resistência à compressão de ambas formulações ao 28º dia devido à adição de casca de arroz *in natura*, vale ressaltar que o cimento CPV ARI utilizado tem papel importante neste ganho de resistência.

#### 4.7 PROPRIEDADES FÍSICAS

Os resultados encontrados através dos ensaios para obtenção dos índices físicos estão dispostos na sequência. O ensaio de porosidade aberta apresentou pequena alteração nas formulações conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12 - Porosidade aberta média de cada formulação.

Formulação	Substituição (%)	Porosidade Aberta (%)
REF	0%	15,160
F2	5%	15,754
F3	10%	15,924

Fonte: Autor (2020).

Analisando os resultados obtidos, nota-se que a porosidade aberta é diretamente proporcional à porcentagem de substituição de casca de arroz, sendo que houve um acréscimo de 3,92% na porosidade aberta comparando a F2 com a referência. A formulação com 10% de substituição também teve um aumento na porosidade aberta, porém não com a mesma intensidade que F2, sendo 5,04% maior em comparação à referência.

Este acréscimo na porosidade aberta que ocorre devido a inclusão da casca de arroz possui relação direta com a elevada absorção da casca de arroz, pois altera a relação água/cimento da mistura, aumentando os vazios no concreto durante sua cura.

Assim como a porosidade aberta, a absorção de água também é proporcional a porcentagem de substituição. Houve um aumento de 6% na absorção de água para F2 e 7,28% para F3, ambas em comparação com a formulação referência. De forma similar, a alta absorção de água pela casca de arroz influencia na absorção do conjunto, como pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 - Absorção de água média dos corpos-de-prova

Formulação	Substituição (%)	Absorção (%)
REF	0%	6,692
F2	5%	7,094
F3	10%	7,179

Fonte: Autor (2020).

Os resultados referentes à densidade aparente das formulações estão dispostos na Tabela 14. Pode-se observar que diferentemente dos outros índices físicos, a densidade aparente possui relação inversamente proporcional à porcentagem de substituição do agregado miúdo. Analisando a Tabela 14, não há uma expressiva diferença entre a densidade aparente média das formulações 2 e 3. Houve uma redução de ambas em comparação à referência de 1,94% e 2,08% respectivamente.

Tabela 14 - Densidade aparente média de cada formulação.

Formulação	Substituição (%)	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
REF	0%	2,265
F2	5%	2,221
F3	10%	2,218

Fonte: Autor (2020).

#### 4.8 SEGREGAÇÃO

Como mencionado anteriormente, por possuírem massas específicas consideravelmente distintas, a segregação é um processo que seria compreensível de ocorrer em um concreto com adição de um material leve como a casca de arroz. Assim como no experimento realizado por Martinez (2006), não houve a ocorrência de segregação em ambas as formulações deste trabalho, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Corpo-de-prova com substituição parcial de CA rompido.



Fonte: Autor (2020).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a granulometria dos agregados utilizados, tanto a areia natural quanto a brita zero se encontraram dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pela norma. A casca de arroz se mostrou fora dos limites desejáveis na maior parte de sua curva granulométrica para utilização como agregado miúdo no concreto, que segundo Martinez (2006), deve-se ao fato de ser um material com formato prismático e com uma dimensão predominante sobre as demais, além de ser um material com granulometria homogênea.

Em relação à consistência do concreto analisado pelo abatimento de tronco de cone, foi possível notar que à medida que cresce a porcentagem de substituição, maior é o abatimento da formulação, sendo este resultado influência do formato e da má distribuição granulométrica da casca de arroz.

Quanto à caracterização dos índices físicos, foi possível confirmar a relação inversamente proporcional entre a adição de CA e a densidade aparente, além das relações diretas entre a porcentagem de substituição, porosidade aberta e absorção de água.

Considerando os resultados obtidos neste ensaio, apesar da casca de arroz ser um material não normatizado, a formulação com 5% de sua substituição apresentou os melhores resultados neste trabalho, além da não ocorrência da segregação entre os agregados.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar ensaios de resistência à compressão aos 90 dias de cura do concreto;
- Analisar as propriedades mecânicas da substituição com a lavagem dos agregados;
- Analisar a viabilidade econômica da substituição;
- Variar o traço a fim de se analisar o comportamento mecânico.

## REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V. **Materiais Reforçados com Fibras para a Construção Civil nos Países em Desenvolvimento: uso de fibras vegetais**. 1991. Tese (Livre docência) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. **Manual de agregados para a construção civil**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

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

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2019.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BENNACK, V. **Análise da viabilidade técnica da reutilização da cinza da madeira em produtos cimentícios**. 2016. 133 p. Dissertação (Mestrado) -Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Catarina. Joinville, 2016

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições Minerais para Concreto**. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Waster & Grugter, 1984.

GURGEL, F. L. **A cultura do arroz**. 2012. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAARc4AE/cultivo-arroz>. Acesso em: 7 out. 2019

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.



ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v.

LELLES, L. C.; SILVA, E.; GRIFFTH, J.; MARTINS, S. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água**. *Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 439-444, abr. 2005.

LODI, V. H. **Viabilidade Técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó- SC**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **Pozzolanic and cementitious materials**. Advances in concrete technology. Amsterdam: Gordon and Breach Publishers, 1996.

MARTINEZ R. G. **Placas Pré-Moldadas de Argamassa Armada e Casca de Arroz**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.

MESQUITA, A. S. G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina – Piauí. **HOLOS**, v. 2, p. 58-65, 2012.

MILANI, A. P. S. **Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

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

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

OBILADE, I. O. **Experimental Study On Rice Husk As Fine Aggregates In Concrete**. The International Journal of Engineering and Science. Vol. 4. 2014. Disponível em: <http://theijes.com/papers/v3-i8/Version-4/B038409014.pdf>. Acesso em: 24/11/2020.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Globo, 1998.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 345 p. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7733/000554896.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 out. 2019.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento portland**. 3ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011. 119 p.

RECENA, F. A. P. **Método de Dosagem de Concreto pelo Volume de Pasta com Emprego de Cinza Volante**. 2011. 262 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RECENA, F. A. P.; SERRA, G. G. **Dosagem empírica e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. Porto Alegre: EdiPucrs, 2002.

REINHARDT, H. W. Transport of chemicals through concrete. *Edited by Jan Skalny, Material science of concrete III*. Westerville: The American Ceramic Society, 1992. p. 209-241.

RICCI, G. **Estudo de características mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e de demolição para pavimentação**. 2007. 196p. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Aproveitamento de resíduos na construção civil**. Coletânea Habitare - vol. 4. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre, 2018.

SOUZA, M. F.; YAMAMOTO, J. Mulita a partir de hidróxido de alumínio e de sílica da casca de arroz. *Cerâmica*, São Paulo, v.45, n. 291, p. 34-37, 1999.

TANGO, C. E. S. **“Fundamentos de dosagem do concreto para blocos estruturais”**, 5º International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries, Florianópolis – Brazil. 21 – 24 August, 1994.

