



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Ilha Solteira

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Contribuição para utilização de cinza de casca de  
arroz na construção civil

**Eng. EVERTON JOSE DA SILVA**

**Orientador:** Prof. Dr Jorge Luís Akasaki

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Engenharia - UNESP - Campus de Ilha Solteira,  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Civil – Área de Conhecimento:  
Estruturas.

Ilha Solteira – SP.

Abril, 2009.

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

S586c Silva, Everton Jose da.  
Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil /  
Everton Jose da Silva. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2009.  
117 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia  
de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2009

Orientador: Jorge Luís Akasaki  
Bibliografia: p. 109-117

1. Casca de arroz. 2. Cinza de casca de arroz. 3. Argamassa. 4. Concreto.

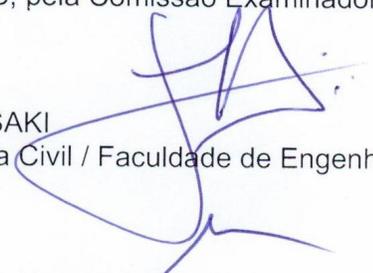
## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil

**AUTOR:** EVERTON JOSE DA SILVA  
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL , Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. MARCO ANTONIO MORAIS ALCANTARA  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. ANTONIO LUDOVICO BERALDO  
Departamento de Construções Rurais / Universidade Estadual de Campinas

Data da realização: 13 de abril de 2009.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Ivanilda, ao meu pai, Jonas e à minha irmã, Lanaira. Tenho muito orgulho de vocês.

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos que colaboraram com a realização deste trabalho, que em virtude do seu caráter multidisciplinar, contou com a participação direta e indireta de diversas pessoas.

À minha mãe, Maria Ivanilda da Silva, ao meu pai Jonas Jose da Silva, e à minha irmã Lanaira da Silva, pelo infinito empenho em colaborar para a conquista dos meus objetivos.

À minha querida MSc Maria Lidiane Marques, que sempre norteou os caminhos percorridos durante minha vida acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Doutor e amigo Jorge Luís Akasaki, que nestes quase seis anos de trabalho, obtivemos grandes conquistas para o grupo MAC.

Ao amigo, Mauro Tashima, que teve participações fundamentais durante o planejamento e o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Laboratório CESP de Engenharia Civil e seus funcionários: “Branco”, Jorge, “Serjão” e Bertolluci (me ajudaram em quatro anos de iniciação científica). Também agradeço a Sumie, Anderson, Pascoalim, Michelan, “Chiquinho”, “Lana”, “Marquinho”, Euclides, Joaquim e Gilmar. Em especial, agradeço ao engenheiro Flávio Moreira Salles pela importante atenção prestada durante toda a realização deste trabalho.

Aos professores da agronomia, Doutores Salatiér Buzetti e Orivaldo Arf, pesquisadores de notável saber, que tiveram uma importante participação no trabalho.

Aos professores do Departamento de Física e Química, Doutores Jean Richard Dasnoy Marinho e Marcelo Ornaghi Orlandi.

Aos amigos e irmãos de orientação Rogério, Lisiane e Pamela. Aos alunos de graduação do curso de Agronomia, Douglas e Amanda. Ao “Margalo”, doutorando da Agronomia e amigo de infância.

Também quero registrar meus agradecimentos aos Técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UNESP: Ronaldo, Gilson, Sílvio (in memoriam), Mário e Cavazzano.

Às empresas Holcim Brasil, Sika do Brasil, Porto de Areia São Judas, IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), Mineração Grandes Lagos e Josapar S. A. pela doação dos materiais utilizados nesta pesquisa.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM – Amorfa Moída.

ASM – Amorfa Sem Moer.

ASM 1 – Amorfa Sem Moer 1 minuto.

ASM 5 – Amorfa Sem Moer 5 minutos.

ASM 10 – Amorfa Sem Moer 10 minutos.

CAD - Concreto de alto desempenho.

CM – Cristalina Moída.

CT – Controle.

Al – Alumínio.

CCA – Cinza de casca de arroz.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento.

EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária.

ET 200 – Entec 200 kg/ha.

ha – hectare.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas.

IAP - Índice de atividade pozolânica.

IBGE - Instituto brasileiro de geografia e estatística.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

K – Potássio.

MA – Maranhão.

MAC – Materiais alternativos de construção.

MS – Mato Grosso do Sul.

P – Fósforo.

N – Nitrogênio.

RHA - Rice husk ash.

RS – Rio Grande do Sul.

SA 50 – Sulfato de Amônia 50 kg/ha.

SA 200 – Sulfato de Amônia 200 kg/ha.

UR 50 – Uréia 50 kg/ha.

UR 200 – Uréia 200 kg/ha.

# CONTRIBUIÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Everton Jose da Silva

## **Resumo**

A presente pesquisa contribui para a utilização de cinza de casca de arroz (CCA) na construção civil abordando dois aspectos importantes ainda em discussão na literatura.

O primeiro aspecto compreende uma análise da influência que a forma de plantio, clima, solo, cultivares e fonte/quantidade de fertilizantes à base de nitrogênio, utilizados na cultura do arroz, exercem na composição química e nas propriedades cristalográficas da CCA.

O segundo aspecto foi aplicar em pastas, argamassas e concretos de alto desempenho uma CCA com baixo teor de carbono, de elevado caráter pozolânico, na condição natural (sem moagem), produzida de uma maneira simples e sem controle de temperatura.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, verifica-se a importância de efetuar ensaios rotineiros de análises químicas e de Difração de Raio-X para manter o controle de qualidade das CCAs produzidas, pois em situação de produção de CCA em larga escala, poderiam ser utilizadas cascas de diferentes origens.

Neste trabalho, também ficou comprovada a viabilidade técnica e científica do método de produção de CCA utilizado. O método produz CCA que, dependendo da forma de amassamento dos compósitos, pode dispensar o emprego de moinhos para aumentar a finura e/ou reatividade de CCAs.

Palavras-chave: casca de arroz, cinza de casca de arroz, pozolana, argamassa e concreto.

# **CONTRIBUTION FOR THE UTILIZACION OF RICE HUSK ASH IN THE CIVIL BUILDING**

Everton Jose da Silva

## **Abstract**

This research contributes to the use of rice husk ash (RHA) in the civil building covering two important aspects that still under discussion in the literature.

The first one includes an analysis of the influence that the form of planting, climate, soil, rice and source/amount of nitrogen-based fertilizers used in rice cultivation in performing crystallographic properties and chemical composition of the rice husk ash.

The second one was to aplicate to the pastes, mortar and concrete of high performance a RHA with low carbon, high pozzolanic character, in the natural physical state (without grinding), produced in a simple way and without control of temperature.

According to the results obtained in this research, it is important to do routine testing of chemical analysis and X-ray Diffraction to keep quality control of RHAs produced, because at industrial production in large scale it can be used husks of different origins.

This research was also demonstrated the feasibility technical and scientific method of production of RHA used. The method produces RHA that depending on the form of production of the composite may eliminate the use of grinders to increase the fineness and/or reactivity of RHAs.

Key-words: rice husk, rice husk ash, pozzolan, mortar and concrete.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Cultivo de arroz em várzeas. _____	24
Figura 2- Cultivo de arroz de terras altas. _____	26
Figura 3- Relação entre Radiação solar e Fotossíntese. _____	27
Figura 4- Mapa de Solos dos Cerrados onde há produção de arroz. _____	29
Figura 5- Produtividade do arroz de terras altas em função de doses de N. _____	34
Figura 6- Principais utilizações da Casca de Arroz. _____	36
Figura 7- Estrutura da sílica cristalina (a), formada por átomos orientados a longa distância, e sílica amorfa (b), cuja orientação dos átomos ocorre apenas a curta distância. _____	43
Figura 8- Características morfológicas e físicas da cinza de casca de arroz proveniente de diferentes processos de queima. _____	44
Figura 9- Fixação da Portlandita pela CCA, (a) Traço Controle (b) Traço CR (c) Traço CC. _____	47
Figura 10- Ordem e Tempo de Colocação dos materiais para amassamento do concreto. _____	48
Figura 11- Resistência à compressão de concretos com CCA com e sem controle de temperatura. _____	50
Figura 12- Curva granulométrica da Areia natural. _____	58
Figura 13- Curva granulométrica da Brita. _____	59
Figura 14- Amostra de CCA cristalina moída. _____	60
Figura 15- Moinho de bolas marca General Eletric, modelo 85R224D10. _____	61
Figura 16- Amostra de CCA amorfa moída. _____	62
Figura 17- CCA cristalina Moída (a); CCA amorfa moída (b); CCA amorfa sem moer (c). _____	62
Figura 18- Máquina de trilhagem e Máquina de beneficiamento de arroz. _____	63
Figura 19- Purificador de água por osmose reversa e Lavagem da Casca. _____	63
Figura 20- Muflas marca Marconi utilizadas na calcinação e amostras de cascas de arroz. _____	64
Figura 21- Espectrofotômetro de Absorção Atômica marca Perkin Elmer modelo Analyst 200. _____	66
Figura 22- Difratômetro de Raio-X marca Shimadzu, modelo XRD - 6000. _____	66
Figura 23- Determinação da quantidade de água. _____	69
Figura 24- Quantidade de água necessária para a consistência normal da pasta. _____	69
Figura 25- Micrografia da cinza de casca de arroz sem moer. _____	70
Figura 26- Constatação do fim de pega. _____	71
Figura 27- Mesa do aparelho de consistência. _____	73
Figura 28- Cps em cura nos moldes. _____	74
Figura 29- Instrumentos para capeamento. _____	74
Figura 30- Máquina para ruptura dos cps marca Maruto. _____	75
Figura 31- Desmoldagem dos corpos-de-prova. _____	76
Figura 32- Execução do ensaio de absorção por capilaridade. _____	76
Figura 33- Cura dos cps em câmara úmida. _____	79
Figura 34- Abatimento do Tronco de Cone. _____	79
Figura 35- Medidor de Ar. _____	80

<i>Figura 36- Determinação da Massa Específica.</i>	80
<i>Figura 37- Corpo-de-prova capeado com enxofre.</i>	81
<i>Figura 38- Máquina para ensaio marca Wolpert.</i>	81
<i>Figura 39- Execução do ensaio de Módulo de Elasticidade.</i>	82
<i>Figura 40- Execução do ensaio à tração por compressão diametral.</i>	82
<i>Figura 41- Quantidade de <math>\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3</math>.</i>	86
<i>Figura 42- Quantidade de <math>\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}</math>.</i>	88
<i>Figura 43- Perda ao Fogo e Impurezas.</i>	88
<i>Figura 44- CCA MA-Forno (a); CCA MA (b).</i>	89
<i>Figura 45- Difratoograma de Raio-X da amostra UR – 50.</i>	90
<i>Figura 46- Difratoograma de Raio-X da amostra UR – 200.</i>	90
<i>Figura 47- Difratoograma de Raio-X da amostra SA – 50.</i>	91
<i>Figura 48- Difratoograma de Raio-X da amostra SA – 200.</i>	91
<i>Figura 49- Difratoograma de Raio-X da amostra ET – 200.</i>	92
<i>Figura 50- Difratoograma de Raio-X da amostra RS.</i>	92
<i>Figura 51- Difratoograma de Raio-X da amostra MS.</i>	93
<i>Figura 52- Difratoograma de Raio-X da amostra MA.</i>	93
<i>Figura 53- Difratoograma de Raio-X da amostra MS – Forno.</i>	94
<i>Figura 54- Difratoograma de Raio-X da amostra MA – Forno.</i>	94
<i>Figura 55- Tempos de início e fim de pega das pastas.</i>	96
<i>Figura 56- Resistência à Compressão de Argamassas x Idade.</i>	97
<i>Figura 57- Coeficiente de Capilaridade.</i>	98
<i>Figura 58- Resistência à Compressão dos Concretos x Idade.</i>	99
<i>Figura 59- Micrografia da CCA AM.</i>	101
<i>Figura 60- Micrografia da CCA ASM 1.</i>	101
<i>Figura 61- Micrografia da CCA ASM 5.</i>	102
<i>Figura 62- Micrografia da CCA ASM 10.</i>	102
<i>Figura 63- Módulo de Elasticidade dos Concretos.</i>	103
<i>Figura 64- Resistência à Tração dos Concretos.</i>	104
<i>Figura 65- Resistência à Compressão aos 28 dias.</i>	105
<i>Figura 66- Vedação da Betoneira para o traço ASM 10.</i>	105

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1- A produção de arroz no Brasil.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 2- Propriedades Morfológicas, físicas e químicas de Latossolos. ....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 3- Relação das cultivares de arroz de terras altas, instituições detentoras e região de adaptação recomendada.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 4- Análise das cascas de arroz. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 5- Impurezas de diversas cascas de arroz ao redor do mundo. ....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 6- Estrutura cronológica do conhecimento sobre CCA.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 7- Composição química da CCA segundo diversos autores.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 8- Amostras de cascas de arroz. ....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 9- Características químicas do solo na camada de 0 a 0,20 m da área experimental. ....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 10- Características Físico-químicas do cimento. ....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 11- Frações da areia normalizada, segundo NBR 5752. ....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 12- Caracterização do Agregado Miúdo. ....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 13- Caracterização do Agregado Graúdo. ....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 14- Ficha técnica do Viscocrete 20 HE. ....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 15- Temperatura e tempo de calcinação.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 16- Estudo da Taxa de Aquecimento para Calcinação.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 17- Composição da pasta. ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 18- Composição das argamassas.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 19- Composição dos traços de concreto. ....</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 20- Ensaio realizados no concreto fresco. ....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 21- Resultado das Análises Químicas das CCAs. ....</i>	<i>85</i>
<i>Tabela 22- Tempos de Início e Fim de Pega das Pastas.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 23 – Tratamento estatístico para valores de resistência à compressão das argamassas. ....</i>	<i>98</i>
<i>Tabela 24 – Tratamento estatístico para valores de resistência à compressão dos concretos. ....</i>	<i>100</i>
<i>Tabela 25- Tratamento estatístico para valores de resistência à tração e módulo de elasticidade. ....</i>	<i>104</i>

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>15</b>
1.1. Importância do Tema .....	15
1.2. Estrutura da Dissertação .....	17
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>20</b>
<b>3. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. A cultura do Arroz .....</b>	<b>22</b>
3.1.1. Sistemas de Cultivo.....	24
3.1.2. Clima .....	26
3.1.3. Solos .....	28
3.1.4. Cultivares .....	31
3.1.5. Fertilizantes .....	32
3.1.6. Fontes de Nitrogênio .....	34
<b>3.2. Casca de Arroz .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3. Cinza de Casca de Arroz.....</b>	<b>39</b>
3.3.1. Histórico da CCA .....	39
3.3.2. Pozolanidade da CCA .....	41
3.3.3. Efeito da CCA em Compósitos .....	46
<b>4. Programa Experimental.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1. Materiais .....</b>	<b>53</b>
4.1.1. Cascas de Arroz.....	53
4.1.2. Cimento .....	56
4.1.3. Água.....	57
4.1.4. Agregado Miúdo .....	57
4.1.5. Agregado Graúdo .....	58
4.1.6. Aditivo Superplastificante .....	59
4.1.7. Cinzas de Cascas de Arroz.....	60
<b>4.2. Equipamentos e Métodos Experimentais .....</b>	<b>63</b>
4.2.1. Obtenção e Tratamentos das Cascas de Arroz .....	63
4.2.2. Espectrofotômetro de Absorção Atômica .....	65
4.2.3. Difractômetro de Raio-X.....	66
4.2.4. Confeccção de Compósitos com CCA.....	67

4.2.5. Procedimentos Aplicados às Pastas .....	67
4.2.6. Procedimentos Aplicados às Argamassas.....	71
4.2.7. Resistência à Compressão .....	72
4.2.8. Absorção de Água por Capilaridade .....	75
4.2.9. Procedimentos Aplicados aos Concretos .....	77
4.2.10. Ensaio do concreto Fresco .....	79
4.2.11. Ensaio do concreto Endurecido .....	81
<b>5. Resultados e Discussão .....</b>	<b>84</b>
<b>5.1. Influências das Variáveis na CCA .....</b>	<b>84</b>
5.1.1. Água de Lavagem das Cascas de Arroz.....	84
5.1.2. Espectrofotômetro de Absorção Atômica.....	85
5.1.3. Difração de Raios-X.....	90
<b>5.2. Compósitos com CCA.....</b>	<b>95</b>
5.2.1. Pastas.....	95
5.2.2. Argamassas.....	96
5.2.3. Concretos.....	99
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>107</b>
<b>6.1. Influência das Variáveis na CCA.....</b>	<b>107</b>
<b>6.2. Compósitos com CCA.....</b>	<b>107</b>
<b>6.3. Sugestões para pesquisas futuras.....</b>	<b>108</b>
<b>7. Referências.....</b>	<b>109</b>

## INTRODUÇÃO



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. IMPORTÂNCIA DO TEMA

No início de 2008, o Brasil vivenciou um início de crise inflacionária que atingiu os alimentos, em função de diversos fatores, dentre eles: aumento do consumo, estabilização da área cultivada, da produtividade de alimentos e aumento de renda das camadas menos favorecidas da população.

Esse fato, associado à necessidade de haver fontes de energia e combustíveis renováveis, exige que o aproveitamento da matéria-prima cultivada seja mais eficiente, pois os processos agroindustriais que são necessários para o desenvolvimento da sociedade, geram resíduos que acarretam problemas de ordem ambiental.

Cabe aos pesquisadores a responsabilidade de encontrar soluções viáveis do ponto de vista econômico, ecológico do ponto de vista ambiental e eficaz do ponto de vista tecnológico. Muitas vezes para isso ocorrer, é necessário um esforço multidisciplinar entre as grandes áreas do conhecimento para atingir os desafios lançados.

No caso da utilização do resíduo originado no processo agroindustrial do arroz, diferentes grupos ao redor do mundo têm trabalhado com este tema, dentre eles: P. K. Metha (Universidade de Berkeley - Califórnia), J. Payá (Universidade Politécnica de Valência), J. S. Coutinho (Universidade do Porto), além de outros.

No Brasil, diversas pesquisas vêm sendo realizadas a fim de empregar a cinza de casca de arroz (CCA) na construção civil. Destacam alguns trabalhos: Guedert (1989), Isaia (1995), Santos (1997, 2006), Rêgo (2004), Cordeiro (2006) e Tashima (2006).

Coutinho (2003, p. 3) aborda algumas vantagens de se utilizar materiais como a CCA em concretos:

1 - **Diminuição do uso de cimento Portland.** O consumo de cimento deverá atingir um valor próximo de  $2 \times 10^{12}$  toneladas em 2010 e existem quantidades suficientes de subprodutos pozolânicos e cimentícios que podem substituir (parcialmente) o cimento Portland; dessa forma não será necessário que se aumente a produção de clínquer Portland. A produção do cimento Portland tradicional é responsável por cerca de 7% das emissões de  $\text{CO}_2$ .

2 - **Maximização da durabilidade das estruturas de concreto.** Esta é uma solução com um enorme impacto e um grande passo no sentido da melhoria da produção de recursos na indústria do concreto. Executar obras que terão uma “morte prematura” corresponde a sobreconsumir recursos. Além disso, haverá também o custo de retirar a construção mal executada para que se comece uma nova obra. A abordagem clássica para aumentar a durabilidade tem sido procurar modificar a composição do concreto, sobretudo pela redução da relação água/aglomerante e por utilização de materiais com propriedades pozolânicas ou hidráulicas tais como cinzas volantes, sílica, e cinza de casca de arroz.

Embora a CCA apresente estas vantagens e o primeiro trabalho que investigava a exploração do potencial aglomerante do material tenha sido publicado há 35 anos por Metha (1973) citado por John et al (2003, p. 164), a CCA continua sendo descartada no meio ambiente de maneira irregular e sem nenhum tipo de aproveitamento na maioria dos casos.

A primeira dificuldade que impede o emprego efetivo de CCA para aplicação em argamassas e concretos é que sua reatividade está diretamente associada ao método de calcinação utilizado. CCAs produzidas sem controle de temperatura, ou seja, em caldeiras, fornalhas ou queimadas a céu aberto, apresentam elevado teor de carbono em sua composição química (cor escura), o que diminui sua reatividade e provoca um aumento na absorção da água de amassamento.

Alguns pesquisadores estudaram maneiras para produzir CCA de elevada reatividade e de coloração clara. Porém, nesses casos os problemas são: o elevado custo para a construção de um forno, a necessidade de um controle rigoroso na temperatura e no tempo de queima e também, a necessidade de injeção de ar durante o processo de queima para a eliminação do carbono (TASHIMA, 2006 p. 15).

A segunda dificuldade é representada pela necessidade de moer a CCA a fim de diminuir sua granulometria, pois aumentando a área específica sua reatividade e os efeitos físicos e pozolânicos advindos desta operação também ficam mais evidentes.

Além disso, embora a produção de arroz no Brasil em 2008 tenha sido de cerca de 12 milhões de toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2008), o beneficiamento desta produção não é realizada de maneira concentrada, ou seja, em virtude das dimensões continentais deste país, há diversas maneiras de se cultivar arroz, o que pode também interferir na constituição química e características da cinza de casca de arroz (HOUSTON, 1972).

Dentro deste quadro de dificuldades, este trabalho aborda duas vertentes: a primeira compreende uma análise da influência que a forma de plantio, clima, solo, cultivares e fertilizantes utilizados na cultura do arroz exercem na composição química e propriedades cristalográficas da cinza de casca de arroz. A segunda é a utilização de um método de produção de cinza de casca de arroz, simples, sem controle de temperatura e que fornece CCAs de elevado caráter pozolânico, com coloração clara e que dispensa a necessidade de sua moagem para a confecção de concretos de alto desempenho. O desenvolvimento deste processo de queima iniciou-se em 2002, sob orientação do Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki dando origem a várias pesquisas de Iniciação Científica e também a três Dissertações de Mestrado (SILVA, 2004, BARBOSA, 2006, TASHIMA, 2006), que utilizaram a cinza de casca de arroz para a produção de concretos e argamassas.

## **1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação está subdividida em 7 capítulos. No primeiro, faz-se uma abordagem sobre a importância do tema estudado mostrando as vantagens da utilização da CCA na construção civil e analisando os motivos pelos quais ela ainda não foi implantada no Brasil.

No segundo capítulo descrevem-se os objetivos principais desta dissertação.

O terceiro capítulo apresenta as diversidades que existem na cultura do arroz, e o quanto às variáveis: tipo de clima, solo, cultivares e fonte/quantidade de fertilizantes

---

interferem na produtividade e na qualidade do arroz. Também no capítulo 3, são mostradas essas influências na casca de arroz e na cinza de casca de arroz. Além disso, é tratado neste capítulo os efeitos da CCA em compósitos (pasta, argamassa e concretos).

O quarto capítulo trata do programa experimental desenvolvido para a realização deste estudo. É nesta parte que estão descritos todos os materiais, equipamentos e métodos experimentais empregados para o desenvolvimento desta pesquisa.

O capítulo cinco mostra os resultados obtidos na pesquisa e, além disso, apresenta as discussões sobre os resultados obtidos, comparando-os com dados apresentados por outros pesquisadores.

O sexto capítulo mostra as conclusões desta pesquisa, dando também algumas sugestões para pesquisas futuras.

O sétimo capítulo apresenta as referências utilizadas para nortear esta dissertação.

## **OBJETIVOS**

---

+

## **2. OBJETIVOS**

O trabalho apresenta dois objetivos principais, a saber:

1 - Avaliar a influência do tipo de solo, clima, cultivares e, principalmente, fonte e quantidade de fertilizantes à base de Nitrogênio nas propriedades químicas e cristalográficas da cinza de casca de arroz.

2 - Comprovar a viabilidade técnica e científica de um método de produção de cinza de casca de arroz, sem controle de temperatura, que produz uma CCA amorfa, clara e que dispensa a necessidade de moagem para a aplicação em argamassas e concretos de alto desempenho.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. A CULTURA DO ARROZ

De acordo com Silva (1975, p. 09), o centro da origem do arroz se situa na zona pré-himalaiana do sudeste asiático e, a partir da Índia, a cultura se expandiu até a China numa época ainda não bem determinada, mas que se supõe ter sido anterior a 3000 anos.

Cerca de 90% de todo arroz do mundo é cultivado e consumido na Ásia, cujo sistema básico de cultivo é o irrigado por inundação. Neste continente, o arroz é cultivado em mais de 250 milhões de pequenas propriedades, onde a maioria da população alimenta-se de arroz duas a três vezes ao dia.

No mundo, o arroz é o alimento básico para aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas e, segundo estimativas, até 2050, a produção deverá ser dobrada para atender a demanda populacional (GUIMARÃES et al, 2006 p. 54). O crescimento acelerado da população está aumentando a demanda do produto em proporções não compatíveis com o crescimento da produção.

Para atender à demanda, deverá ser adicionada ao mercado mundial de arroz cerca de 10 milhões de toneladas de arroz por ano; tal quantidade correspondente a produção brasileira anual de arroz.

Segundo Guimarães et al (2006, p. 54), a produção na Ásia atenderá somente metade de sua demanda total de arroz, devendo a outra parte originar-se fora desse continente. Isto se deve à possibilidade da diminuição de área de cultivo de arroz em alguns países da Ásia em virtude das principais razões: competição da água empregada na cultura com outros fins, tais como: uso doméstico e industrial, alta taxa de urbanização, redução da disponibilidade de mão-de-obra e deslocamento da produção agrícola para áreas marginais.

Com isso, a América Latina e a África destacam-se no cenário mundial como as duas únicas regiões com grande potencial, quase inexplorado, para a produção de arroz e com capacidade para atender a essa demanda. Detendo 12% das terras agrícolas e 13,2% dos recursos renováveis de água, a América Latina pode, futuramente, se tornar o grande

fornecedor desse cereal. No que diz respeito à produção brasileira, a Tabela 1 apresenta informação sobre área, produtividade e produção das safras 2006/2007 e 2007/2008.

Tabela 1- A produção de arroz no Brasil.

ARROZ NO BRASIL / RICE IN BRAZIL COMPARATIVO DE ÁREA, PRODUTIVIDADE E PRODUÇÃO SAFRAS 2006/07 E 2007/08									
REGIÃO/UF	ÁREA (em mil ha)			PRODUTIVIDADE (em kg/ha)			PRODUÇÃO (em mil t)		
	Safra 06/07	Safra 07/08	VAR. %	Safra 06/07	Safra 07/08	VAR. %	Safra 06/07	Safra 07/08	VAR. %
	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d)	(d/c)	(e)	(f)	(f/e)
<b>NORTE</b>	<b>495,9</b>	<b>453,0</b>	<b>(8,6)</b>	<b>2.250</b>	<b>2.369</b>	<b>5,3</b>	<b>1.116,0</b>	<b>1.073,3</b>	<b>(3,8)</b>
RR	22,3	22,2	(0,4)	5.100	5.667	11,1	113,7	125,8	10,6
RO	71,1	68,3	(3,9)	2.060	2.222	7,9	146,5	151,9	3,7
AC	22,1	12,6	(43,0)	1.310	1.484	13,3	29,0	18,7	(35,5)
AM	13,4	4,9	(63,2)	1.500	1.392	(7,2)	20,1	6,9	(65,9)
AP	2,9	2,9	(0,9)	780	1.164	49,2	2,3	3,3	45,5
PA	207,4	176,0	(15,2)	1.913	1.916	0,1	396,8	337,1	(15,0)
TO	156,7	166,1	6,0	2.601	2.586	(0,6)	407,6	429,7	5,4
<b>NORDESTE</b>	<b>746,3</b>	<b>742,8</b>	<b>(0,5)</b>	<b>1.403</b>	<b>1.596</b>	<b>13,7</b>	<b>1.047,3</b>	<b>1.185,8</b>	<b>13,2</b>
MA	511,4	510,3	(0,2)	1.390	1.409	1,4	710,8	719,2	1,2
PI	153,4	142,9	(6,8)	884	1.508	70,6	135,6	215,5	58,9
CE	32,5	33,7	3,8	2.186	3.112	42,4	71,0	105,0	47,9
RN	1,5	1,7	14,4	2.377	2.541	6,9	3,6	4,4	21,1
PB	6,9	7,1	3,1	690	1.383	100,4	4,8	9,8	104,9
PE	5,0	4,5	(10,7)	5.100	4.299	(15,7)	25,5	19,2	(24,8)
AL	3,2	3,4	6,3	4.378	4.300	(1,8)	14,0	14,6	4,4
SE	11,5	12,0	4,3	4.630	4.500	(2,8)	53,2	54,0	1,5
BA	20,9	27,1	29,9	1.380	1.626	17,9	28,8	44,1	53,3
<b>C-OESTE</b>	<b>442,6</b>	<b>368,4</b>	<b>(16,8)</b>	<b>2.667</b>	<b>2.860</b>	<b>7,2</b>	<b>1.180,4</b>	<b>1.053,9</b>	<b>(10,7)</b>
MT	280,3	238,4	(15,0)	2.620	2.834	8,2	734,4	675,6	(8,0)
MS	42,1	35,7	(15,2)	5.020	5.266	4,9	211,3	188,0	(11,0)
GO	120,0	94,3	(21,5)	1.950	2.018	3,5	234,0	190,2	(18,7)
DF	0,2	0,1	(50,0)	3.653	1.300	(64,4)	0,7	0,1	(81,4)
<b>SUDESTE</b>	<b>1.115,0</b>	<b>98,0</b>	<b>(14,8)</b>	<b>2.387</b>	<b>2.562</b>	<b>7,3</b>	<b>274,5</b>	<b>251,1</b>	<b>(8,5)</b>
MG	85,0	71,1	(16,4)	2.200	2.173	(1,2)	187,0	154,5	(17,4)
ES	2,8	2,0	(29,6)	2.900	2.926	0,9	8,1	5,8	(28,8)
RJ	2,6	2,3	(10,8)	3.400	3.373	(0,8)	8,8	7,8	(11,2)
SP	24,6	22,6	(8,1)	2.870	3.671	27,9	70,6	83,0	17,5
<b>SUL</b>	<b>1.167,6</b>	<b>1.262,2</b>	<b>8,1</b>	<b>6.593</b>	<b>6.681</b>	<b>1,3</b>	<b>7.697,7</b>	<b>8.432,1</b>	<b>9,5</b>
PR	57,3	47,3	(17,4)	3.130	3.464	10,7	179,3	163,9	(8,6)
SC	155,9	153,2	(1,7)	7.050	6.850	(2,8)	1.099,1	1.049,4	(4,5)
RS	954,4	1.061,7	11,2	6.726	6.799	1,1	6.419,3	7.218,8	12,5
<b>N/NE</b>	<b>1.242,2</b>	<b>1.195,8</b>	<b>(3,7)</b>	<b>1.741</b>	<b>1.889</b>	<b>8,5</b>	<b>2.163,3</b>	<b>2.259,1</b>	<b>4,4</b>
<b>C/SUL</b>	<b>1.725,2</b>	<b>1.728,6</b>	<b>0,2</b>	<b>5.305</b>	<b>5.633</b>	<b>6,2</b>	<b>9.152,6</b>	<b>9.737,1</b>	<b>6,4</b>
<b>BRASIL</b>	<b>2.967,4</b>	<b>2.924,5</b>	<b>(1,4)</b>	<b>3.813</b>	<b>4.102</b>	<b>7,6</b>	<b>11.315,9</b>	<b>11.996,1</b>	<b>6,0</b>

Fonte: CONAB, levantamento de maio de 2008.

De acordo com a Tabela 1, observa-se que embora a área plantada de lavoura de arroz tenha sofrido uma pequena redução, com o aumento de 7,6% de produtividade conseguiu-se alcançar uma produção de 11.996,1 milhões de toneladas, superando a quantidade colhida na safra anterior.

### 3.1.1. SISTEMAS DE CULTIVO

#### *ECOSSISTEMA VÁRZEAS*

A maior parcela da produção de arroz do país é proveniente do ecossistema várzeas, onde a orizocultura irrigada é responsável por 69% da produção nacional, sendo considerado um estabilizador da safra nacional, uma vez que não é tão dependente das condições climáticas como no caso dos cultivos de terras altas. No Brasil, há 33 milhões de hectares de várzeas, com topografia de disponibilidade de água propícias à produção para a orizocultura.

Nesse ecossistema, a cultura do arroz pode ser encontrada sob cultivo em várzeas (Figura 1) sistematizadas, com controle de lâmina de água, onde o agricultor coloca e retira a água quando é conveniente o cultivo, até lavouras onde um nivelamento inadequado impede o controle da lâmina de água e a má drenagem não permite o manejo eficiente do sistema, haja vista as várzeas úmidas, não sistematizadas, irrigadas pela água de chuva ou pela elevação do lençol freático.



Figura 1- Cultivo de arroz em várzeas.

Fonte: [http://www.ufrgs.br/Alimentus/terradearroz/imagens/arroz\\_irrigado01\\_mod.jpg](http://www.ufrgs.br/Alimentus/terradearroz/imagens/arroz_irrigado01_mod.jpg)

Acesso em 23/09/2008

Por suas características especiais, o sistema de várzeas requer solos planos e com pouca drenagem vertical a fim de garantir a manutenção de uma lâmina de água sobre a sua superfície durante todo o ciclo da cultura ou parte dele. Para a obtenção de êxito na implantação de um projeto de produção de arroz nestes sistemas, é essencial que se escolham, áreas que possuam água em abundância, de fácil acesso e de baixo custo. Essas características conferem condições diferentes dos solos de terras altas, com relação aos atributos físicos, químicos, morfológicos, mineralógicos e biológicos.

### ***ECOSSISTEMA TERRAS ALTAS***

Em terras altas, o arroz (sequeiro) pode ser cultivado com irrigação suplementar por aspersão ou sem irrigação, ou seja, a disponibilidade de água para a cultura é totalmente dependente da precipitação pluvial.

Esse sistema de cultivo predomina nos Estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Bahia, Maranhão e Mato Grosso do Sul. Quando a irrigação suplementar é utilizada no arroz plantado sob condições de Cerrados, o aumento de produtividade de grãos é da ordem de 70% (GUIMARÃES et al, 2006, p. 67).

O sistema de cultivo de arroz por aspersão caracteriza-se pelo intensivo uso do solo, com rotação de culturas e intenso uso de tecnologia. Os plantios feitos na estação chuvosa, durante os meses de outubro a maio, fazem uso da irrigação de forma suplementar. No início do período “das águas”, a ocorrência de precipitações pluviais é errática e em janeiro e fevereiro podem acontecer períodos de estiagem, denominados veranicos, principalmente no sul da região Centro-Oeste.

A região Centro-Oeste é a mais importante no cultivo de arroz de terras altas (Figura 2). Nessa região, predominam os Latossolos, que apresentam boas características físicas, mas de baixa fertilidade natural. A precipitação pluvial anual está ao redor de 1.500 mm, distribuídos ao longo dos meses de outubro e maio.



Figura 2- Cultivo de arroz de terras altas.

Fonte: [http://www.ufrgs.br/alimentus/terrdearroz/imagens/arroz\\_sequeiro.jpg](http://www.ufrgs.br/alimentus/terrdearroz/imagens/arroz_sequeiro.jpg)

Acesso em 23/08/2008

Recentemente, vem ocorrendo uma evolução rápida nos sistemas agrícolas, acompanhada de uma crescente demanda por tecnologias mais eficientes. No sul do Maranhão, encontram-se propriedades que produzem arroz de forma empresarial. Essa região apresenta um grande potencial agrícola para este estado, principalmente pela presença de produtores imigrantes de regiões com tradição e experiência em agricultura empresarial. Além disso, apresenta possibilidades de escoar a safra pelo porto de São Luís, utilizando o transporte ferroviário para levar o produto até o terminal marítimo.

### 3.1.2. CLIMA

O arroz é plantado em praticamente todos os estados do país, em latitudes que variam desde 5° Norte até 33° Sul, sendo uma das culturas mais afetadas por condições climáticas distintas.

De acordo com Steinmetz et al (2006, p. 117), as seguintes propriedades influenciam no desenvolvimento e na produtividade do arroz: fotoperíodo (intervalo entre o nascer e o pôr-do-sol), temperatura, radiação solar, chuva e necessidade de água durante o crescimento da planta.

A princípio, o fotoperíodo não é um fator limitante quando o arroz é cultivado na época normal, primavera/verão, porém, pode-se tornar um problema, caso as cultivares não estejam adaptadas para semeaduras em outras épocas do ano. O mesmo princípio é válido

para o efeito da temperatura sobre o arroz de terras altas na região dos cerrados. Para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul, a ocorrência de baixas temperaturas durante o período reprodutivo é um dos problemas mais importantes e que exigem mais atenção.

A quantidade de radiação solar disponível durante o ciclo da cultura, a princípio, também não é um fator limitante para o arroz de terras altas, porém, no caso do arroz irrigado, deve-se buscar maior eficiência de utilização da radiação solar, caso se pretenda atingir produtividades superiores a 5000 kg. ha<sup>-1</sup>. A Figura 3 (STEINMETZ et al, p.135) apresenta a importância da intensidade da radiação solar no desenvolvimento da reação de fotossíntese. Verifica-se que a fotossíntese na população de folhas eretas aumenta com a densidade de fluxo de radiação sem que haja ponto de saturação, enquanto que na população com folhas decumbentes o aumento de fotossíntese ocorre apenas até um determinado nível, havendo saturação de luz acima desse patamar.

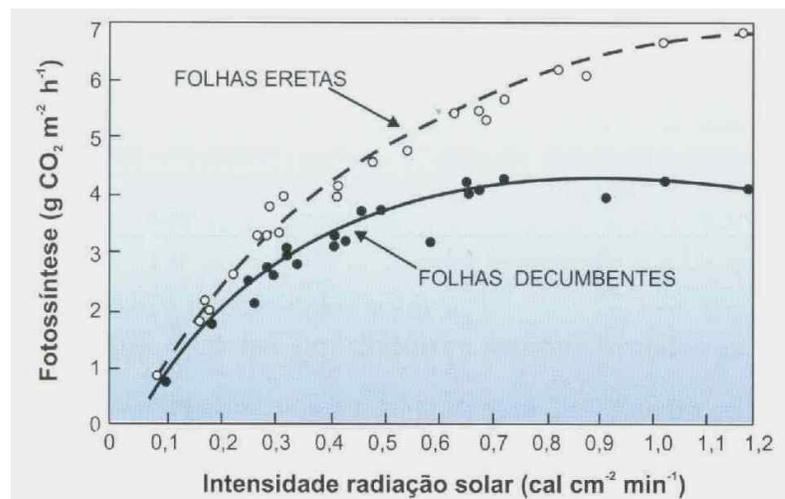


Figura 3- Relação entre Radiação solar e Fotossíntese.  
Fonte: Steinmetz et al (2006, p. 135)

Para o arroz de terras altas, particularmente na região dos cerrados, a deficiência hídrica é o principal problema. Ela é causada pela ocorrência de estiagens prolongadas, veranicos, associados aos baixos níveis de fertilidade e às práticas inadequadas do preparo do solo. A deficiência hídrica é a principal responsável pela baixa produtividade e instabilidade de produção do arroz de terras altas, com produtividade média de 2434 kg. ha<sup>-1</sup> (STEINMETZ et al, 2006, p. 117).

### 3.1.3. SOLOS

Neste item são discutidos os mais relevantes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos que definem e diferenciam as principais classes de solos onde se cultiva arroz de terras altas, visto que a primeira parte deste trabalho aborda amostras de cascas de arroz originadas neste sistema de cultivo.

O arroz de terras altas é encontrado em praticamente todos os estados brasileiros. No entanto, é nas Regiões Nordeste e Centro-Oeste, predominantemente em áreas de cerrados e, em menor extensão, sob influência amazônica, no Estado do Maranhão, que se concentram as maiores áreas de cultivo.

As características intrínsecas da grande maioria dos solos dos cerrados são: elevada acidez, baixa capacidade de troca de cátions e de retenção de umidade, baixa fertilidade natural, traduzida pela deficiência generalizada de nutrientes, particularmente de P, associada a teores elevados de Al e alta saturação de Al no do solo (COELHO et al, 2006 p. 161).

Os autores abordam que, no entanto, podem destacar-se como aspectos positivos dos solos dos cerrados: (a) facilidade de mecanização, de correção e provimento da fertilidade; (b) possibilidade de irrigação, apesar das controvérsias da disponibilidade de água na região; (c) elevada profundidade, friabilidade, porosidade e boa drenagem interna dos solos. Esses atributos são inerentes à classe dos Latossolos, mais representativo dos cerrados e de todo território brasileiro e, que não apresentam riscos de salinização quando são irrigados. Esses fatores concorrem para que a região seja considerada dentre aquelas de maior potencial agrícola do país (KER 1992, apud COELHO et al, 2006 p. 161).

Com base no mapa de solos do Brasil (COELHO, 2006) e no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA SOLOS, 2006), podem distinguir-se sete classes de solos (nível categórico de Ordem), mapeáveis e representativas dos cerrados. A Figura 4 apresenta o mapa de solos generalizado das principais classes de solos dos cerrados, evidenciando somente aquelas localizadas nos estados que são os maiores produtores de arroz de terras altas.

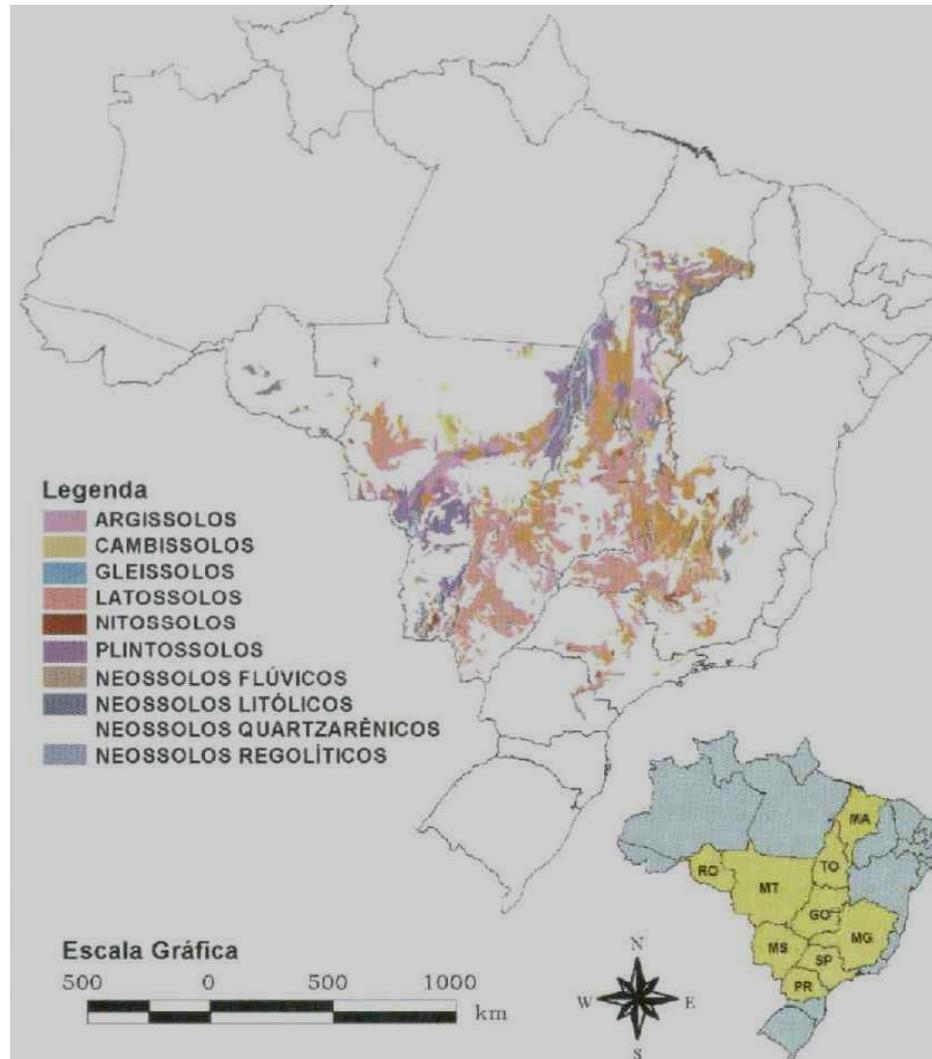


Figura 4- Mapa de Solos dos Cerrados onde há produção de arroz.  
Fonte: Coelho et al (2006, p. 170)

Em geral, quando se trata de solos de cerrado, imediatamente eles são associados à classe dos Latossolos, possivelmente devido à sua grande extensão geográfica ou, ainda, por se consistirem nos solos mais utilizados na região. Nos estados que são os maiores produtores de arroz de terras altas, os Latossolos distribuem-se por aproximadamente 45% da área, consistindo, atualmente, nas áreas mais exploradas com culturas anuais na região. Juntos, a classe dos Latossolos, Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos e Argissolos distribuem-se por cerca de 90% dos Cerrados, compreendidas nos maiores estados produtores de arroz de terras altas, perfazendo uma extensão de 1.192.862,73 km<sup>2</sup>.

Na Tabela 2 podem ser vistos alguns atributos relacionados a perfis selecionados das principais classes de Latossolos do Cerrado brasileiro. Os Latossolos Vermelho-Amarelos estão entre os mais expressivos na região, ocupando aproximadamente 20% de sua superfície nos maiores estados produtores de arroz de terras altas. Apresentam coloração amarelada devido à predominância de goethita (FeOOH) em relação à hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), embora seja a caulinita o mineral mais expressivo da fração argila, podendo ocorrer conteúdos expressivos de gibsitita (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Tabela 2- Propriedades Morfológicas, físicas e químicas de Latossolos.

Hor.	Prof. cm	Cor (úmida)	Silte	Argila	C.Org.	pH		SB	CTC	V	m	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> g kg <sup>-1</sup>	P ass. mg kg <sup>-1</sup>
						H <sub>2</sub> O	KCl						
(1) LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado													
A	0-15	5YR 3/3	100	880	25,3	5,1	4,1	0,5	10,0	5	69	61	1
Bw	50-120	5YR 5/8	60	920	8,8	5,6	5,2	0,2	2,8	7	0	69	1
(1) LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado													
A	0-20	2,5YR 3/5	110	850	23,0	4,9	4,3	0,4	9,9	4	73	134	1
Bw	100-120	2,5YR 3/6	90	880	11,7	5,2	4,9	0,3	5,0	6	40	138	1
(2) LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, textura muito argilosa, A fraco													
A	0-10	10YR 3/3	110	560	17,0	5,2	3,9	2,2	8,9	25	39	245	2
Bw	45-90	10YR 3/4	80	620	6,9	5,4	4,1	0,9	4,5	20	61	252	1
(3) LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura argilosa, A moderado													
A	0-10	10YR 4/2	100	430	13,5	5,2	4,1	0,2	6,2	3	75	210	1
Bw	37-60	10YR 6/4	80	490	6,8	5,4	4,4	0,1	3,4	3	80	250	< 1

Fonte: Coelho et al (2006, p. 175)

Onde:

Hor. = Horizontes; Prof. = Profundidade; C. Org. = Carbono Orgânico; SB = Soma de Bases (Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup> K<sup>+</sup> Na<sup>+</sup>); CTC = Capacidade de troca de cátions (SB + H + Al); V = Saturação por Bases (100 x SB/T); m = Saturação por alumínio (100 x Al<sup>3+</sup>/S + Al<sup>3+</sup>); P ass. = Fósforo Assimilável.

Esses minerais podem estar presentes em quantidade e proporção variadas em cada classe dos Latossolos, imprimindo importantes características e propriedades químicas e físicas aos solos, bem como respostas diferenciadas às práticas de manejo (GOMES, 2002 apud COELHO, 2006 p. 174). Geralmente, os Vermelho-Amarelos são de drenagem interna mais restrita em relação aos Latossolos Vermelhos. A diferença básica entre ambas as classes reside tanto nos menores teores de Fe como pela coloração amarelada dos Latossolos Vermelho-Amarelos, comparativamente aos Vermelhos.

### 3.1.4. CULTIVARES

De acordo com Chang e Bardenas (1965), apud Santos, (2006, p. 218), não há critério, morfológico ou fisiológico, que possa diferenciar o arroz com base no ecossistema a que estão adaptados, que sejam várzeas ou terras altas.

Ao estudar a evolução de diversificações de arrozes asiáticos e africanos, os autores verificaram que a ampla dispersão do genoma asiático levou à formação das três raças eco-geográficas, bem como ao surgimento das várias formas de cultivo da cultura.

O arroz tradicionalmente cultivado sob o sistema de sequeiro evoluiu do arroz irrigado há algumas centenas de anos, através da pressão exercida pelo homem, ao deslocar-se de áreas baixas de várzeas para locais mais elevados. Yoshida e Hasegawa (1982), apud Santos, (2006, p. 219) afirmam que as cultivares tradicionais de sequeiro apresentam raízes longas e espessas, enquanto as semi-anãs as têm finas e fibrosas.

Stone et al, (2001, p. 74) abordam os principais fatores que devem ser considerados na escolha da cultivar de arroz a ser plantada:

- Conhecimento da cultura na região;
- Conhecimento das características das cultivares (ciclo, altura da planta, resistências a doenças, qualidade do produto e produtividade);
- Sistema de cultivo (várzeas ou terras altas);
- Disponibilidade de água;
- Nível de tecnologia a ser utilizada;
- Fertilidade do solo;
- Sistema de plantio;
- Disponibilidade de sementes.

Na Tabela 3, encontra-se a relação de cultivares de terras altas e suas respectivas áreas de abrangência, sendo considerada apenas as cultivares habilitadas para cultivo sob cobertura do Programa de Garantia de Atividade Agropecuária (PROAGRO) em 2003/2004, ou seja, as incluídas nas portarias de divulgação do Zoneamento Agrícola daquele ano agrícola.

Tabela 3- Relação das cultivares de arroz de terras altas, instituições detentoras e região de adaptação recomendada.

<b>Cultivar</b>	<b>Detentor</b>	<b>Região de adaptação recomendada</b>
BRS Aimoré	Embrapa	MG, DF, GO, MS, TO, MA, PI
BRS Bonança	Embrapa	MT, DF, GO, RO, TO, MA, PI
BRS Colosso	Embrapa	MG, GO, MT, RO, PA, MA, PI, TO
BRS Primavera	Embrapa	MG, DF, GO, MS, MT, TO, MA, PI, BA
BRS Soberana	Embrapa	MT, GO
BRS Talento	Embrapa	MT, GO, TO, BA, MA, PI
BRSMG Conai	Embrapa, UFLA, EPAMIG	MG
BRSMB Curinga	Embrapa, UFLA, EPAMIG	MG, GO, MT, RO, PA, RR, MA, PI, TO
BRS Caiapó	Embrapa	SP, MG, GO, DF, MS, MT, TO, MA, PI, BA
BRS Canastra	Embrapa	MG, DF, GO, TO, MA, PI, BA
BRS Carajás	Embrapa	GO, DF, MS, MT, TO, MA, PI, BA
BRS Carisma	Embrapa	MG, DF, MS, MA
Cirad 141	Agronorte	Todo o Brasil
IAC 165	IAC	SP
IAC 201	IAC	SP
IAC202	IAC	SP
BRS Maravilha	Embrapa	DF, GO, MS, MT, TO

Fonte: Santos et al (2006, p. 350)

### 3.1.5. FERTILIZANTES

De acordo com Stone et al (2001, p. 49), as plantas necessitam de 16 nutrientes para seu desenvolvimento satisfatório, sendo a maioria deles provenientes do solo. Assim, é muito comum acontecer que um ou mais desses nutrientes se encontrem no solo em quantidade insuficiente para o desenvolvimento normal de uma cultura. Quando isso ocorre, é necessário que se proceda uma adubação. Em geral, os solos usados para o cultivo do arroz de terras altas são pobres em nutrientes e não atendem às exigências da cultura.

Esses nutrientes são divididos em dois grupos principais, de acordo com a quantidade absorvida e exigida pelas plantas: macronutrientes e micronutrientes. Os que pertencem ao primeiro grupo são absorvidos em grande quantidade, e a unidade de medida é kg/ha. Os do segundo grupo são absorvidos em pequena quantidade, medida em g/ha.

Os macronutrientes, em ordem decrescente, de acordo com as quantidades absorvidas, são:  $K \geq N > Ca > P > S > Mg$ . Os micronutrientes, também em ordem decrescente, são:  $Mn > Fe > Zn > Cu > B > Mo$ .

A quantidade extraída de nutrientes pelo arroz depende do nível de produtividade alcançado. Stone et al (2001, p. 50) afirmam que uma lavoura de arroz de terras altas, para produzir uma tonelada de grãos, extrai do solo cerca de 30 kg de N (50%), 5 kg de P (70%), 30 kg de K (20%), 6 kg de Ca (25%), 2,5 kg de Mg (25%), 4 kg de S (25%), 12,5 g de B (30%), 18 g de Cu (60%), 65 g de Zn (50%), 140 g de Fe (22%), e 355 g de Mn (25%). Os autores ressaltam que uma elevada quantidade desses nutrientes é exportada pelos grãos (valores expressos entre parênteses) após a colheita, havendo necessidade de repor esses nutrientes no solo, por meio de adubações.

A prática de adubação depende de vários fatores, que devem ser previamente analisados, levando em conta os aspectos agronômicos (maior eficiência dos fertilizantes) e econômicos (maior renda líquida para o produtor). Para atender a esses princípios, a recomendação de adubação deve ser fundamentada:

- Em resultados de análises de solo complementadas pela análise da planta;
- Na análise do histórico da área;
- No conhecimento agronômico da cultura;
- No comportamento ou tipo da cultivar;
- No comportamento dos fertilizantes no solo;
- Na expectativa de produtividade.

Ainda de acordo com Stone et al (2001, p. 51), a adubação nitrogenada é uma das mais importantes, não somente para o arroz, mas para todas as culturas, pois, além de promover aumentos consideráveis de produtividade e qualidade de grãos, o nitrogênio exerce muitas funções essenciais à planta. O nitrogênio faz parte da molécula de clorofila e, portanto, é necessário para a realização da fotossíntese. Como componente das moléculas de aminoácidos essenciais formadores de proteínas, é diretamente responsável pelo aumento do teor de proteínas nos grãos. No caso específico do arroz, além de promover aumento de crescimento das plantas, certos componentes da produção são influenciados pela adubação nitrogenada. Os

efeitos mais importantes desta adubação que se observam são, em geral, aumento no número de panículas e de grãos por panículas.

Contudo, a eficiência dessa prática depende, basicamente, da eficiência do adubo nitrogenado, do estágio de desenvolvimento e da capacidade do arroz absorver nitrogênio. A uréia e o sulfato de amônio são os fertilizantes nitrogenados mais utilizados na agricultura brasileira. Ambos apresentam baixa eficiência de utilização pelas culturas, variando, geralmente, de 50% a 60%.

A dosagem de nitrogênio, independente da fonte, interfere diretamente no desempenho de produtividade da cultura do arroz. A Figura 5 expõe isso ao indicar a curva de produtividade em função das doses de nitrogênio utilizadas.

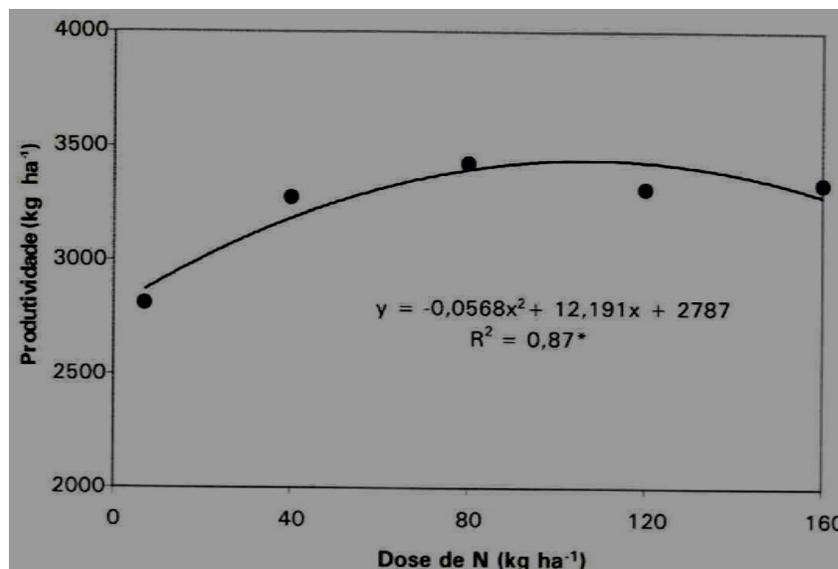


Figura 5- Produtividade do arroz de terras altas em função de doses de N.

Fonte: Guimarães et al (2006, p. 53)

### 3.1.6. FONTES DE NITROGÊNIO

Em geral, para a escolha do fertilizante nitrogenado, o produtor baseia-se, geralmente, no custo da unidade de N, na disponibilidade e na eficiência da fonte aplicada.

De acordo com Teixeira Filho (2008 p. 13), a uréia e o sulfato de amônio são duas fontes que apresentam baixa eficiência de utilização pelas culturas, raramente superior a 50%,

porém são as mais utilizadas na agricultura brasileira, possivelmente por serem de menor custo e de maior disponibilidade no mercado.

Dentre as fontes nitrogenadas, a uréia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) que é um fertilizante sólido, na forma de grânulos brancos, destaca-se por apresentar elevada concentração de N (~45% de N), alta solubilidade, baixa corrosividade e menor relação custo por unidade de nutriente. Além disso, por ser um adubo altamente concentrado, torna-se mais barato o transporte, o armazenamento e a aplicação. Entretanto, um dos seus inconvenientes é a perda do N pela hidrólise da mesma e a volatilização da amônia, principalmente em solos úmidos e intemperizados, provocando uma forte elevação do pH do solo próximo ao local onde ocorrem as reações (MELLO, 1987).

Vale et al (1991) estudaram duas fontes de nitrogênio e constataram que independentemente da dose de N aplicada, a taxa de nitrificação foi maior para o  $\text{NH}_4^+$  proveniente da uréia, em relação ao sulfato de amônio. Tal fato foi atribuído à elevação do pH do solo em função da hidrólise da uréia.

O sulfato de amônio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) é uma opção como fonte de nitrogênio que não sofre volatilização de N amoniacal (N- $\text{NH}_3$ ) quando o pH é inferior a 7. Sua composição é de aproximadamente 20% de N e de 22 a 24% de enxofre. Este fertilizante tem sua eficiência reduzida basicamente por desnitrificação e lixiviação de nitratos. Ao se adicionar ao solo, o sulfato de amônio se dissocia em  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , que podem ser adsorvidas pelas plantas. O N amoniacal é oxidado a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e há a liberação de  $\text{H}^+$  no sistema, caracterizando-o como fertilizante acidificante do solo. Segundo Barbosa Filho et al (2004), o sulfato de amônio mostra um efeito acidificante superior ao da uréia.

Com o intuito de melhorar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, recentemente foi lançado no mercado o adubo nítrico amoniacal sulfonitrato de amônio (Entec) que possui 26% de nitrogênio total e 12% de enxofre, na sua maior parte na forma amoniacal (18,5% na forma amoniacal e 7,5% na forma nítrica). De acordo com o fabricante, este fertilizante possui um inibidor temporário do processo de nitrificação, o que prolonga o efeito residual do  $\text{NH}_4^+$  por maior período sob forma menos lixiviável na camada arável, com possibilidade de aumento na absorção das raízes e conseqüente redução das perdas por lixiviação.

### 3.2. CASCA DE ARROZ

Como subprodutos do beneficiamento e processamento do arroz em casca, resultam o arroz quebrado, a casca e o farelo, muito pouco utilizados, tanto na agroindústria alimentar como na não-alimentar. De acordo com Carvalho et al (2006, p. 902), existe a necessidade de um melhor entendimento sobre os benefícios nutricionais do arroz, de suas propriedades funcionais e qualidades sensoriais, pois são fundamentais para o desenvolvimento de aplicações de valor agregado, formulação e modificação.

No caso da casca de arroz, dependendo do cultivar, a porcentagem de casca em relação ao total do produto colhido pode variar entre 14 e 35% (BEAGLE, 1977). O seu aproveitamento industrial, além de agregar valor a este produto, contribui para diminuir um grave problema ambiental. Uma característica importante a ser considerada para o seu aproveitamento como matéria-prima é o seu baixo custo. A Figura 6 apresenta algumas opções de utilização.

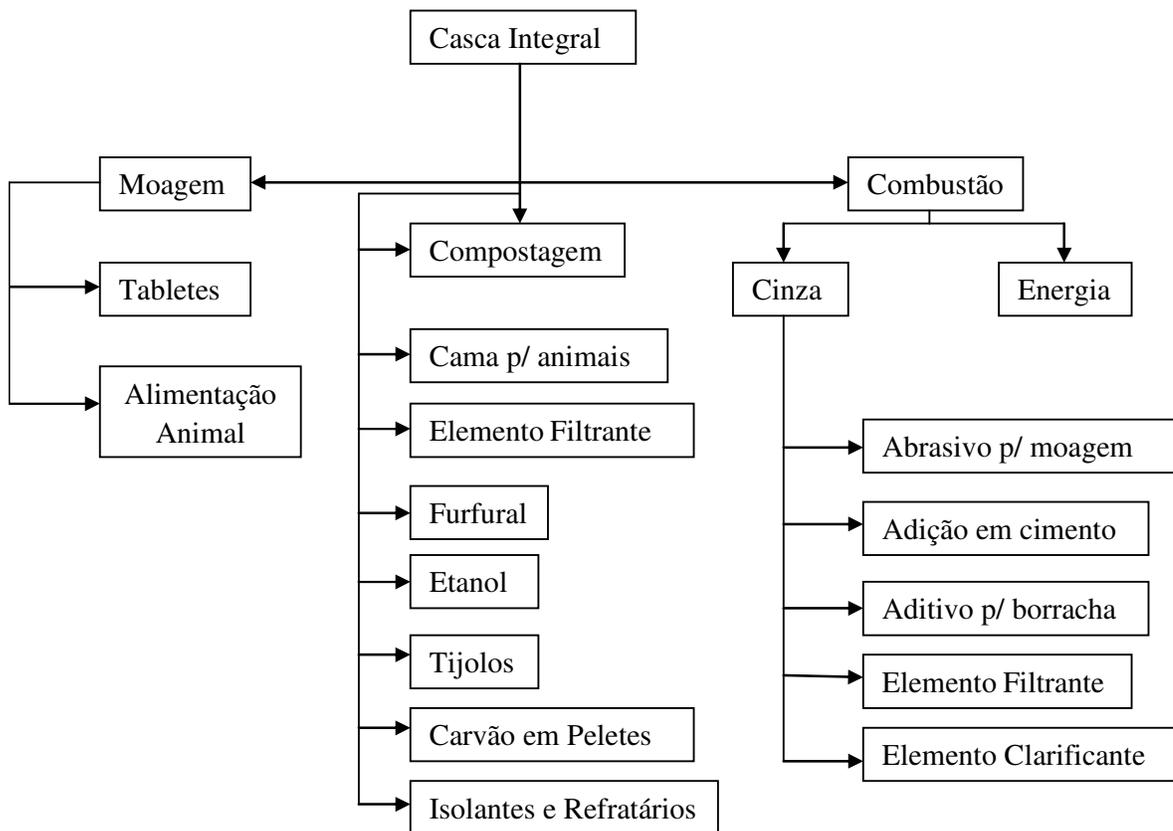


Figura 6- Principais utilizações da Casca de Arroz.

Outra finalidade verificada para a casca de arroz foi observada por Chittenden (1964) e Day (1970) apud Juliano (1985), que estudaram a utilização de casca de arroz substituindo o agregado para a confecção de concreto leve.

Por definição, a casca de arroz é um revestimento ou capa protetora formada durante o crescimento do grão, de baixa densidade e elevado volume. É um material fibroso, cujos maiores constituintes são celulose (50%), lignina (30%) e resíduos inorgânicos (20%). O resíduo inorgânico contém, em média, cerca de 95 a 98%, em massa, de sílica, na forma amorfa hidratada, perfazendo 13 a 29% do total da casca (HOUSTON, 1972 apud POUHEY, 2006 p. 9).

Esta variação do percentual de sílica presente na casca de arroz depende da safra, ou seja, da variedade plantada, do clima e das condições do solo, além da localização geográfica (GOVINDARAO, 1980, AMICK, 1982).

A constituição química da casca de arroz varia com a espécie cultivada, tipo de solo, fatores climáticos e fertilizantes empregados (CORDEIRO, 2006 p. 60). Hwang e Chandra (2002, p. 198) apresentam análises elementares de amostras distintas de cascas de arroz (Tabela 4), onde se observam pequenas variações no que se refere às quantidades de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e cinzas.

Tabela 4- Análise das cascas de arroz.

Amostra	Quantidade (% em massa)					
	C	H	O	N	S	Cinza
1	38,3	5,7	39,8	0,5	0,0	15,5
2	39,4	5,5	36,1	0,5	0,2	18,2
3	39,5	5,5	37,7	0,8	0,0	16,5

Fonte: Hwang e Chandra (2002, p. 198)

A casca de arroz equivale a cerca de 20% da massa do grão e é composta por quatro camadas estruturais, fibrosas, esponjosas ou celulares (HOUSTON, 1972 apud POUHEY, 2006 p. 9).

- Epiderme externa, coberta por uma espessa cutícula de células silificadas;
- Esclerênquima ou fibra hipoderme, com parede lignificada;
- Célula parênquima esponjosa;
- Epiderme interna.

De acordo com Della (2005, p. 9), o resíduo inorgânico obtido após a queima da casca contém, em média, 90% de sílica, bem como óxidos de potássio, magnésio, sódio, cálcio, ferro, fósforo, manganês e alumínio, os quais são analisados como impurezas.

O teor e o tipo de impureza, bem como o percentual de sílica contida, variam de acordo com a espécie da planta, o sistema de cultivo, as condições climáticas e geográficas, o ano de colheita, os teores e tipos de fertilizantes empregados na plantação, a preparação da amostra e os métodos de análise (AMICK, 1982, GAVA, 1999, DELLA, 2005).

Contudo, os trabalhos desenvolvidos por estes autores não tinham como objetivo principal a análise destas variáveis na composição da casca de arroz. Poucos trabalhos na literatura foram realizados neste sentido, dentre eles estão: Thenabadu (1977) e Irri (1982) apud Juliano (1985, p. 697).

Thenabadu (1977) fez um estudo da localização da sílica contida na casca de arroz de quatro cultivares plantadas em sete locais diferentes que abrangiam três zonas climáticas distintas do Sri Lanka. O autor mostrou que houve diferença significativa na quantidade de sílica em cinco das sete localidades avaliadas.

Já Irri (1982), avaliou a influência das estações na quantidade de sílica presente na casca de arroz de 18 cultivares. De acordo com o autor, na estação seca a quantidade de sílica encontrada em média foi de 18,6%, enquanto que na úmida foi de 15,4%. Verificou-se esta tendência de comportamento em praticamente todas as cultivares.

Hunt et al (1984, p. 1684) estudou amostras de casca de arroz provenientes de diferentes partes do mundo buscando determinar se existiam ou não diferenças significativas nas concentrações de impurezas. O autor encontrou uma boa concordância entre os resultados obtidos. A Tabela 5 apresenta os resultados, sendo que os seguidos de \*\*, de acordo com o autor, podem ser atribuídos a problemas com a técnica analítica empregada.

Tabela 5- Impurezas de diversas cascas de arroz ao redor do mundo.

Impurity (ppmw)	Source of hulls				
	Arkansas	Japan	Lousiana	Malaysia	Avg
<b>Al</b>	20	10	2000**	10	10
<b>B</b>	2	1	2	1	2
<b>Ca</b>	1000	1000	1000	1000	1000
<b>Fe</b>	20	20	60**	20	20
<b>K</b>	4000	8000	2000	1200	3800
<b>Mg</b>	900	200	600	300	500
<b>Mn</b>	500	200	500	200	350
<b>Na</b>	20	50	10	20	25
<b>P</b>	>1000**	200	--	50	130
<b>S</b>	50	>1000**	--	20	40
<b>Ti</b>	2	0,5	10	1	3

Fonte: Hunt et al (1984, p. 1684)

Neste sentido, o objetivo primeiro deste trabalho visa contribuir com o conhecimento das diversas variáveis que compõem a produção da casca de arroz e suas conseqüências nas características finais da CCA, a ser utilizada como pozolana em argamassas e concretos.

### 3.3. CINZA DE CASCA DE ARROZ

#### 3.3.1. HISTÓRICO DA CCA

Sobre a CCA se concentram quase todas as pesquisas sobre o potencial aglomerante das cinzas vegetais. John et al (2003, p. 164) enumeram alguns fatores que contribuem para esse destaque:

1. O conteúdo de cinza na casca de arroz é certamente um dos maiores entre os vegetais, entre 18 e 20%;
2. A sílica presente na casca de arroz forma uma estrutura alveolar (em formato de favo de mel), de grande superfície específica;
3. Existe uma grande produção de arroz no Brasil e no mundo.

Como já foi observado anteriormente, pesquisas científicas envolvendo a casca de arroz e seu subproduto, a cinza de casca de arroz, já vem sendo realizadas há muitos anos. Tibone (2007, p. 73) apresentou uma revisão histórica dos principais trabalhos que formam a estrutura cronológica do conhecimento a respeito da cinza de casca de arroz e a partir dela a Tabela 6 foi elaborada.

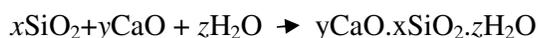
Tabela 6- Estrutura cronológica do conhecimento sobre CCA.

Ano (s)	Local	Autor (es)	Trabalho (s)
1924	Alemanha	BEAGLE	Utilização de Casca de Arroz no concreto
1940 e 1950	-	DIVERSOS	Blocos confeccionadas com cimento Portland e cinza e casca de arroz
1973	Bélgica	METHA	Primeira Patente no Assunto
1976	-	PITT	Controle de combustão em leito fluidizado
1978	Índia	METHA E PIRTZ	Substituição de Cimento Portland por CCA em concreto massa
1979	Índia	PRAKASH	Utilização de CCA em trabalhos de alvenaria e fundações
1979	Paquistão	-	Primeiro Workshop sobre o assunto
1981	Ásia	COOK	Estudo da fluência e retração de concretos de cimento Portland com a adição de CCA
1982	Japão	-	Produção e Emprego de CCA como material cimentício
1984	Israel	HANA YOUSIF	Efeito da queima e moagem nas propriedades de argamassa
1986	Índia	JAMES E RAO	Morfologia e características químicas e físicas da CCA
1989	Tailândia	HWANG E WU	Hidratação e microestrutura de pastas de cimento produzidas com diferentes CCAs
1994	EUA	METHA	Patente relativa a produtos altamente duráveis com cinzas, com o emprego de 5 a 30% de CCA substituindo o cimento
1995	Brasil	ISAIA	Efeito de misturas binárias e ternárias de Pozolanas em Concreto de Alto desempenho
1999	Brasil	GAVA	Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação da Atividade Pozolânica
2001	Espanha	PAYA	Determinação da sílica amorfa na CCA por um rápido método analítico
2003	Brasil	PRUDÊNCIO, SANTOS E DAFICO	Revisão sobre CCA, incluindo processos de queima e tratamentos realizados para a obtenção de sílica da casca de arroz
2005	Brasil	ISAIA	Cinza de casca de Arroz in: Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações
2006	Brasil	POUEY	Beneficiamento da Cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.
2008	Brasil	METHA E MONTEIRO	Cinza de casca de arroz in: Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais

Recentemente, importantes trabalhos de notável relevância foram desenvolvidos com cinza de casca de arroz no Brasil, como por exemplo: Rêgo (2004), Cordeiro (2006), Tashima (2006), Pouey (2006), Santos (2006), Tibone (2007), Silva (2007) e Hoppe (2008).

### 3.3.2. POZOLANICIDADE DA CCA

A cinza de casca de arroz, desde que adequadamente processada, se torna uma pozolana, ou seja, um produto silicoso ou sílico-aluminoso, que estando predominantemente na forma amorfa, se solubiliza em meio alcalino e reage em solução com íons  $\text{Ca}^{2+}$ , levando à precipitação de silicatos de cálcio hidratados. A reação pode ser simplificada pela seguinte equação:



O resultado final da reação é o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), principal produto de hidratação dos cimentos Portland. Sendo as pozolanas materiais sílico-aluminosos, podem ser formados também aluminatos e sílico-aluminatos.

Mehta e Monteiro (2008, p. 307) classificam a cinza de casca de arroz, junto com a sílica ativa, como pozolanas altamente reativas, que consistem essencialmente de sílica pura na forma não-cristalina. As partículas normalmente são menores que 45  $\mu\text{m}$ , mas são altamente celulares (área superficial específica de 40 a 60  $\text{m}^2/\text{g}$ , por adsorção de nitrogênio).

Isso indica que é fundamental a presença de uma grande quantidade de sílica na constituição química de uma pozolana, e na condição amorfa, para que ocorra a reação pozolânica. Silveira (1996) agregou um conjunto de composições químicas com CCAs (Tabela 7) de diferentes origens e verificou que a significativa quantidade de sílica nas mesmas não sofreu grandes variações, com exceção de Isaia (1995).

Tabela 7- Composição química da CCA segundo diversos autores.

Composição	COOK	SALAS	CINCOTTO	RÊGO	GUEDERT	FARIAS	SUGITA	ISAIA
Química (%)	1976	1986	1988	2004	1989	1990	et al., 1992	1995
Temperatura de Queima	450°C	1000°C	500 - 600°C	ni	sem controle	ni	600°C	(*)
SiO <sub>2</sub>	93,15	91,26	94,70	84,95	93,11	91,78	90,00	78,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41	0,94	0,09	0,45	0,92	0,60	0,10	2,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20	0,37	1,46	0,32	0,40	0,34	0,40	2,30
CaO	0,41	2,15	0,99	0,84	0,52	0,50	0,40	1,00
MgO	0,45	0,88	0,95	0,40	0,85	0,52	0,30	0,80
SO <sub>3</sub>	nd	nd	0,21	nd	nd	0,02	nd	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,08	nd	0,04	0,21	0,12	0,11	0,06	0,01
K <sub>2</sub> O	2,31	nd	1,75	0,50	1,12	1,30	2,41	0,56
Perda ao fogo	2,77	nd	7,29	nd	nd	nd	4,20	11,80
Resíduo Insolúvel	nd	0,17	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Fonte: Silveira (1996, p. 40)

Obs.: nd = não determinado

ni = não informado; (\*) = 50% a 650°C + 50% sem controle de temperatura

É consenso na literatura, que variáveis como temperatura de queima, tempo de residência, atmosfera de calcinação e taxa de aquecimento influenciam diretamente tanto nas propriedades físico-químicas, quanto nas estruturas morfológicas da CCA. A Figura 7 aborda a diferença estrutural que existe entre a morfologia amorfa e cristalina da CCA.

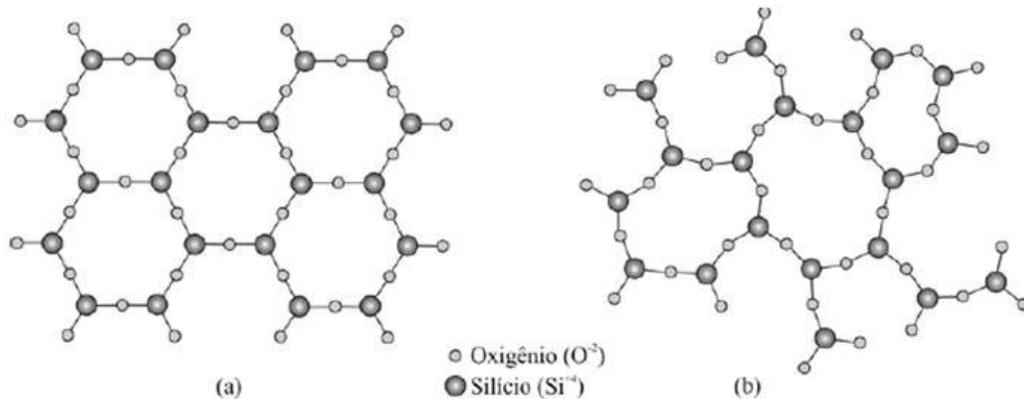


Figura 7- Estrutura da sílica cristalina (a), formada por átomos orientados a longa distância, e sílica amorfa (b), cuja orientação dos átomos ocorre apenas a curta distância.

Fonte: Van Vlack apud Cordeiro (2006, p. 33)

Um estudo realizado por Rêgo (2004) revelou que embora a diferença na quantidade de sílica entre CCAs amorfa e cristalina fosse pequena, a diferença no teor de amorficidade é muito significativa. Enquanto a CCA amorfa está 100% nesta estrutura, a CCA cristalina tem apenas 6,35% de material com estrutura amorfa sendo o restante (93,65%) composto por sílica cristalina.

Vieira et al (2005) avaliaram duas formas de se constatar o teor de amorficidade da CCAs. A primeira diz respeito à difração por raio-X; a segunda forma estudada foi o método químico. Segundo os autores, os dois processos são eficazes, mas a difração por raio-X pode ser mais confiável por ser constituída por ondas eletromagnéticas; teoricamente não sofreria interferências físicas como no método químico, já que não há a necessidade de contato físico na realização do ensaio. O tempo de exposição do reagente é um indicativo da necessidade de se conseguir um melhor ataque da sílica, confirmando a presença do fator físico como grau de dificuldade.

As variações nas características morfológicas e físicas das cinzas de casca de arroz provenientes de diferentes processos de queima são mostradas no diagrama da Figura 8, apresentada por Sensale (2000).

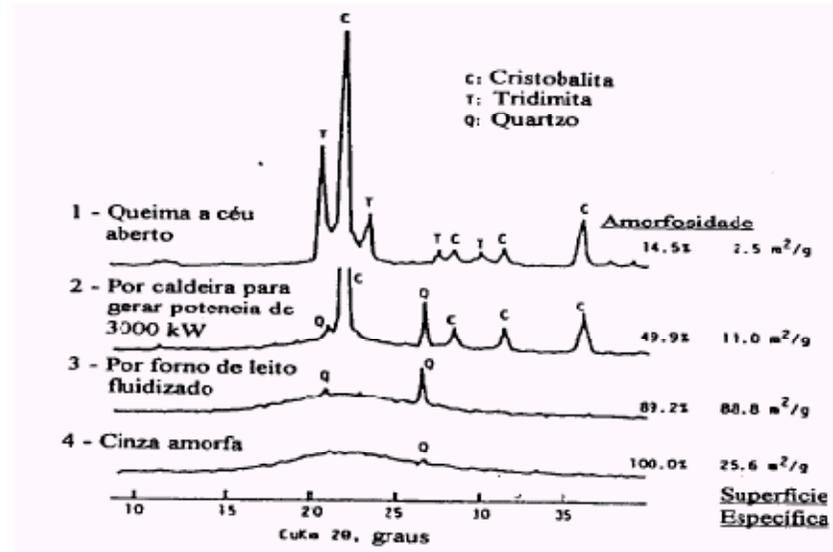


Figura 8- Características morfológicas e físicas da cinza de casca de arroz proveniente de diferentes processos de queima.  
Fonte: Sensale (2000).

De acordo com Pitt (1976) apud Cordeiro (2006, p. 65), é necessário elevar a temperatura para valores acima de 1000 °C para que ocorra a transformação de estado amorfo para cristalino na sílica pura. Entretanto, durante a queima da casca de arroz, a mudança de forma estrutural da sílica amorfa ocorre geralmente em temperaturas inferiores à 1000°C, dada a presença de outros constituintes na casca.

Krishnarao et al (2001) atribuíram a aceleração da cristalização da sílica amorfa em cristobalita à fusão do potássio na superfície da cinza da casca de arroz, pois quando o óxido de potássio se dissocia (346,85 °C), forma o elemento potássio que tem ponto de fusão de 63,65 °C causando um derretimento da superfície da casca e acelerando a cristalização da sílica amorfa em cristobalita.

Além do potássio, outras impurezas podem interferir na pozolanicidade da cinza de casca de arroz, pois elas impedem a liberação do carbono durante a calcinação. Ele pode ficar aprisionado dentro da fase líquida formada na superfície das partículas da cinza pela dissociação e posterior fusão dos óxidos metálicos fundentes.

Uma vez que a CCA contenha mais carbono, além de agregar prejuízos estéticos com a coloração mais escura, terá sua reatividade diminuída, pois além de atenuar a quantidade de

sílica percentualmente, o carbono exige uma maior quantidade de água para manter a mesma consistência em argamassas e concretos.

Além dos aspectos morfológicos e da composição química, para a CCA apresentar uma melhor condição de pozolanicidade, é necessário que a mesma sofra um processo de moagem. Sem essa redução, as partículas possuem baixa densidade e mantém a sua estrutura celular original, não sendo próprias para uso como aditivo devido a um aumento na absorção de água.

Rêgo (2004) também comparando CCAs cujas estruturas eram amorfas e cristalinas, chegou à conclusão que ambas as CCAs apresentaram aumento do IAP (índice de atividade pozolânica) com o cimento e com a cal, com a diminuição do diâmetro médio das partículas. Quando finamente divididas, tanto a CCA amorfa quanto a CCA cristalina mostraram-se altamente pozolânicas em relação a esses ensaios.

Além dos IAPs, que são ditados por normas nacionais e internacionais, existem outras maneiras de se avaliar a atividade pozolânica:

- a) Análises Químicas (Absorção por Massa Atômica, Fluorescência de Raio-X).
- b) Teor de Vidro (Difração de Raio-X, Microscópio óptico).
- c) Finura (Granulometria a laser, Área Específica por Absorção de nitrogênio – BET).
- d) Método de Chapelle (Método Químico que mede o consumo de CaO livre).
- e) Resistência Mecânica (Argamassa e Concreto).
- f) Análise Termogravimétrica (Mede o consumo de  $\text{Ca(OH)}_2$ ).
- g) Formação de silicato de cálcio hidratado (Difração de Raio-X).
- h) Liberação de Calor (Calorímetro de Lagavant).
- i) Medidas de Condutividade Elétrica.
- j) Porosimetria por Intrusão de Mercúrio.
- k) Ressonância Magnética Nuclear.
- l) Análises através de Microscopia Eletrônica de Varredura.

Nair et al (2008) ao utilizarem algumas das técnicas anteriormente citadas acima (a; g; i; k; e l) constataram que a condição ótima de temperatura para a formação de CCAs reativas devem ser na faixa de 500 a 700°C.

### 3.3.3. EFEITO DA CCA EM COMPÓSITOS

Torres et al (2008, p. 11) trabalharam com diferentes tipos de CCAs e constataram que quando a mesma é adicionada ao cimento, ao invés de substituí-lo, o desempenho mecânico da resistência à compressão melhora e a taxa de absorção tende a diminuir. Contudo, perde-se no ganho ambiental com a possibilidade de diminuir o consumo de cimento, pois mesmo o substituindo, há melhorias em relação aos traços de referência.

Sensale et al (2008) estudaram a influência da presença de CCA na retração autógena de pastas de cimento. De acordo com os autores, um aumento da porcentagem de CCA na pasta de cimento diminui a deformação autógena. Seus efeitos positivos são atribuídos à estrutura celular porosa da CCA que afeta a distribuição de água durante a hidratação.

Cordeiro et al (2007, p. 5) revelam que as reações pozolânicas ocorrem desde as primeiras idades até os 90 dias de cura. A Figura 9 apresenta a diminuição do pico correspondente à fixação da portlandita, o que demonstra o potencial pozolânico das CCAs CR (Cinza Residual) e CC (Cinza com controle de temperatura) na pasta de cimento.

Os autores observam que com 7 dias, a fixação da portlandita pela CC é muito significativa, o que indica a alta reatividade da adição já nas idades iniciais de cura. Verifica-se a redução do pico até a idade de 90 dias para a CCA CC.

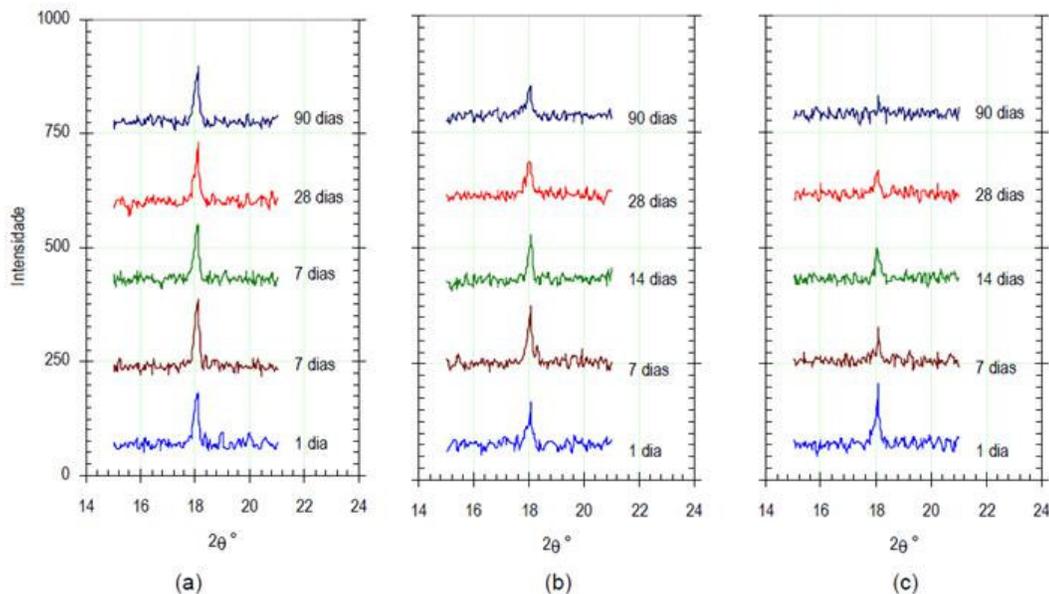


Figura 9- Fixação da Portlandita pela CCA, (a) Traço Controle (b) Traço CR (c) Traço CC.  
Fonte: Cordeiro et al (2007, p. 5)

Pouey (2006, p. 232) produziu cimentos diferentes com distintas CCAs submetidas a tratamentos físicos, térmicos e químicos. A autora afirmou que em termos de resistência à compressão, o tratamento físico (redução da granulometria) foi o que produziu maiores benefícios. Ficou clara a influência da CCA no seu desempenho, ou seja, até o limite de 4,55  $\mu\text{m}$  testado, quanto menor foi a granulometria, maior foi a pozolanicidade da CCA e, por consequência, a resistência à compressão dos compósitos.

Ainda de acordo com a autora, para cimentos 50% passantes inferiores a 6  $\mu\text{m}$ , obtidos pelo moinho periquito, parece haver uma padronização do comportamento, quando independentemente do tipo de CCA, e tipo de tratamento empregados, todas CCAs atingiam IAP acima do limite mínimo estabelecido pelas normas brasileiras e os cimentos atingiram bom desempenho.

Seguindo a mesma tendência, Cordeiro (2006, p. 393), afirmou que os estudos de moagem desenvolvidos com a cinza residual da casca de arroz possibilitaram verificar que a moagem ultrafina foi adequada para conferir elevada atividade pozolânica ao material. Dentre os procedimentos investigados pelo autor, as moagens efetuadas por períodos de 120 min e 240 min em moinho vibratório conduziram às cinzas de maior atividade pozolânica, tanto na avaliação por método mecânico quanto por método químico.

Cordeiro et al (2008) verificaram, através de diversas formas de avaliar a pozolanicidade (IAP com cimento, Fratini, Chapelle e propriedades do concreto com até 20% de substituição de cimento por CCA), que é possível obter CCAs cristalinas e com alto teor de carbono altamente reativas desde que tenha sua granulometria levada à condição de ultrafina, ou seja, aproximadamente 6  $\mu\text{m}$ .

Hoppe (2008, p. 129), embora possa parecer no sentido contrário aos conceitos descritos anteriormente, concluiu em sua dissertação que é possível obter concretos melhores que o traço de referência utilizando CCA em seu estado físico natural, sem moagem. O diferencial de sua pesquisa é que o autor utilizou a ordem de colocação de materiais na betoneira que consta na Figura 10. Nota-se que para os traços com a CCA natural, ou seja, sem moer, há um acréscimo no tempo de amassamento total em relação aos traços com CCA moída e referência, o que faz com que a granulometria da CCA diminua no próprio processo de amassamento do concreto.

TRAÇO	MATERIAL/ TEMPO (min)	MATERIAL/ TEMPO (min)	MATERIAL/ TEMPO(min)	MATERIAL/ TEMPO (min)
<b>REFERÊNCIA</b>	Ag. Graúdo + Água - 2'	Aglomerante 2'	Aditivo 2'	Ag. Miúdo 4'
<b>15 % MOÍDA</b>	Ag. Graúdo + Água - 2'	Aglomerante 2'	Aditivo 2'	Ag. Miúdo 4'
<b>25 % MOÍDA</b>	Ag. Graúdo + Água - 2'	Aglomerante 2'	Aditivo 2'	Ag. Miúdo 4'
<b>15 % NATURAL</b>	Ag. Graúdo + CCA 2'	Água + Aditivo 2'	Cimento 2'	Ag. Miúdo 9'
<b>25 % NATURAL</b>	Ag. Graúdo + CCA 2'	Água + Aditivo 2'	Cimento 2'	Ag. Miúdo 9'

Figura 10- Ordem e Tempo de Colocação dos materiais para amassamento do concreto.

Fonte: Hoppe (2008, p. 86)

Meira et al (2007, p. 11) afirmam que ensaios realizados nos corpos-de-prova com 15% e 25% de CCA (substituindo o cimento) moída e com 15% de CCA natural, apresentaram acréscimos nas resistências axiais aos 91 dias em relação aos concretos de referência (sem adição mineral), com prejuízos pouco significativos quanto às suas propriedades elásticas. Por sua vez, os concretos com 25% de CCA natural tiveram uma queda de cerca de 30%, em média, na resistência à compressão aos 91 dias.

Tibone (2007, p. 139) trabalhou com argamassas produzidas com CCAs cristalinas moídas e sem moer com teores de 5, 10 e 25% de substituição em relação ao cimento. A autora não constatou diferenças significativas entre os traços com CCAs e o traço de referência no que diz respeito à resistência à compressão. Ainda de acordo com a autora, foi encontrada uma correlação entre a resistência à compressão e tração para concretos sem adição de CCA e com 15 % de CCA. Enquanto a resistência à tração de concretos sem adição foi de 7,3%, os concretos com adição alcançaram 7,8%.

De acordo com Silva (2007), a utilização de pozolanas extremamente finas e reativas deve ser controlada pelo fato da necessidade de dosagens corretas de aditivos, uma vez que estas pozolanas possuem uma maior dificuldade de se dispersarem. Assim, o uso de um aditivo superplastificante não se faz necessário somente pela necessidade de obtenção de uma boa trabalhabilidade, fixando-se a consistência, e sim pela necessidade de dispersão completa dos grãos das adições utilizadas, proporcionando a sua eficiência. Em seu trabalho, o autor constatou que a aglomeração de CCA amorfa no interior das barras de argamassa com teores de 20% de substituição favoreceu a expansão devido à reação álcali-agregado.

Tibone e Libório (2008, p. 10) obtiveram resultados de resistência à compressão em concretos com superplastificantes e CCA com comportamento adverso; os valores não foram equivalentes ao consumo de cimento para todos os casos, como era esperado. Isto ocorreu devido à influência positiva da utilização de aditivo superplastificante nas misturas com finos. De acordo com os autores, nas misturas com teor de aditivo muito baixo, a melhoria causada pela boa hidratação que gera o aditivo foi mais eficiente do ponto de vista da resistência à compressão que a maior quantidade de aglomerante presente no traço rico. Com isto, foi possível concluir a importância da utilização de aditivos superplastificantes em misturas com muitos finos, como aquelas que contêm CCA.

Tangchirapat et al (2008) relataram que a utilização de CCA em concretos com agregado reciclado recuperou as desvantagens de se usar somente o agregado reciclado no concreto, visto que o mesmo com CCA apresentou propriedades mecânicas e elásticas melhores do que aquelas do traço de referência.

De acordo com Kawabata (2008, p. 147), embora a utilização de concreto leve exija precauções e estudos quanto ao dimensionamento estrutural e sua utilização, os resultados dos seus estudos indicam a viabilidade da utilização da cinza de casca de arroz no concreto leve.

Chindaprasirt et al (2009) afirmaram que a cinza de casca de arroz pode ser utilizada para a produção de agregado leve. O processo se inicia com a mistura da CCA com uma solução de hidróxido de sódio. Após o endurecimento da pasta de silicato de cálcio hidratado, ela é esmagada e aquecida para a formação do agregado leve de cinza de casca de arroz. Segundo o autor, o agregado apresenta bom desempenho quanto à expansão, solubilidade e desintegração.

Salas et al (2007, p. 4317) estudaram a influência de tratamentos químicos e térmicos nas propriedades pozolânicas da CCA. Os autores concluíram que a CCA tratada química e termicamente superou a sílica ativa na resistência à compressão do concreto, enquanto que a CCA sem tratamento obteve desempenho semelhante àquele do traço de referência, como mostra a Figura 11:

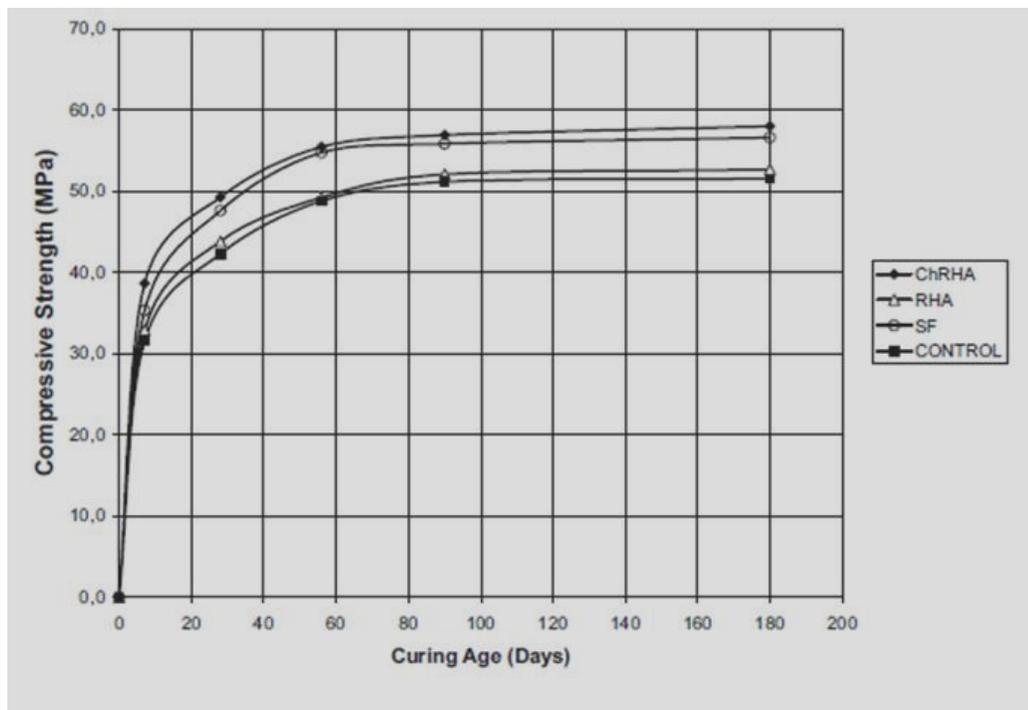


Figura 11- Resistência à compressão de concretos com CCA com e sem controle de temperatura.  
Fonte: Salas et al (2007, p. 4317)

---

Silvino et al (2007, p. 15) afirmaram que CCAs com baixo teor de carbono diminuem o consumo de água e/ou aditivo. Economicamente, isso representa uma grande vantagem, pois reduziria o consumo de aditivos redutores de água, que são relativamente caros e, conseqüentemente, aumentam o preço final do concreto Além disso, o concreto passaria a apresentar uma coloração mais clara, o que melhora o seu aspecto estético.

Contudo, Santos (2006, p. 150) concluiu em seu trabalho que a impureza carbono, se analisada isoladamente, não interfere significativamente sobre as propriedades pozolânicas da CCA.

Dentro deste quadro de pesquisas, o presente trabalho visa contribuir abordando o efeito em compósitos de CCAs amorfas moídas e sem moer (obtida em forno sem controle de temperatura), e mais uma CCA cristalina moída, obtida em caldeira para geração de energia.

**PROGRAMA EXPERIMENTAL**

---

## **4. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

A seguir, serão descritos os materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho. Para a primeira etapa, os principais materiais usados foram as amostras de casca de arroz calcinadas para a realização do objetivo 1 da pesquisa.

Já para a segunda etapa, os materiais usados foram todos aqueles necessários para a confecção de pastas, argamassas e concretos, no intuito de se obter o objetivo 2 proposto.

### **4.1. MATERIAIS**

#### **4.1.1. CASCAS DE ARROZ**

A maioria das amostras de cascas de arroz para a análise das variáveis (tipo de solo, clima, fertilizante e cultivares de arroz) foram originadas de uma pesquisa agrônômica, cujo objetivo foi verificar a aplicação de doses tidas como elevadas (até 200 kg de Nitrogênio por hectare) em cultivares distintos de arroz, que deu um indicativo da viabilidade ou não do uso destas doses. Esta pesquisa, realizada pelo Prof. Dr. Salatiér Buzetti, do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP de Ilha Solteira, testou duas cultivares: Curinga e a IAC 202, em cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg de N ha<sup>-1</sup>), aplicadas na semeadura ou em cobertura. Como fontes de nitrogênio foram utilizadas o Entec (com inibidor de nitrificação e enxofre em sua composição), sulfato de amônio e uréia. Cada parcela, espaçadas de 0,40 m e tendo como área útil as três linhas centrais, desprezando 0,5 m em cada extremidade. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da FE-UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria - MS, em um latossolo vermelho Distroférrico típico, anteriormente ocupado por vegetação de cerrado, com irrigação por aspersão quando da ocorrência de déficits hídricos.

Dentro deste grupo de amostras, foram adotadas algumas particulares para o desenvolvimento deste trabalho. São elas: Sulfato de Amônia 50 kg de N ha<sup>-1</sup>; Sulfato de Amônia 200 kg de N ha<sup>-1</sup>; Uréia 50 kg de N ha<sup>-1</sup>; Uréia 200 kg de N ha<sup>-1</sup> e Entec 200 kg de N ha<sup>-1</sup>. Todas estas amostras são da cultivar Curinga, em virtude do seu comportamento mais homogêneo de produtividade em relação à cultivar IAC 202.

Além destas amostras, foram adotadas outras duas, de diferentes regiões do país, a fim de verificar o efeito das variáveis: clima, solo e cultivares. Uma delas é de origem da região de Dourados, Mato Grosso do Sul e a outra originária da Região Nordeste do Brasil, mais especificamente do Maranhão.

A Tabela 8 apresenta as características de cada casca de arroz utilizada nesta etapa do trabalho.

Tabela 8- Amostras de cascas de arroz.

Amostra	Sistema de Cultivo	Clima	Cultivar	Solo	Fertilizante	Quantidade de fertilizante
SA 50	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	latossolo vermelho Distroférico típico	Fósforo, Potássio e Sulfato de Amônia	50 kg de N ha <sup>-1</sup>
SA 200	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	latossolo vermelho Distroférico típico	Fósforo, Potássio e Sulfato de Amônia	200 kg de N ha <sup>-1</sup>
UR 50	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	latossolo vermelho Distroférico típico	Fósforo, Potássio e Uréia	50 kg de N ha <sup>-1</sup>
UR 200	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	latossolo vermelho Distroférico típico	Fósforo, Potássio e Uréia	200 kg de N ha <sup>-1</sup>
ET 200	Terras Altas	Tropical Úmido	Curinga	latossolo vermelho Distroférico típico	Fósforo, Potássio e Entec	200 kg de N ha
MA	Terras Altas	Semiárido com chuvas	<i>Possíveis:</i> Aimoré, Bonança, Colosso, Primavera, Talentó, Curinga, Caiapó, Canastra, Carajás e Carisma	latossolo	Fósforo e Potássio	-
MS	Terras Altas	Temperado Úmido	<i>Possíveis:</i> Aimoré, Primavera, Caiapó, Carajás, Carisma e Maravilha	latossolo	Fósforo e Potássio	-

Observa-se que a riqueza dos dados das amostras obtidas junto ao trabalho agrônômico é maior em relação às amostras de MS e do MA. Isso aconteceu em virtude da dificuldade de se conseguir dados sobre a origem das cascas de arroz nas beneficiadoras onde as mesmas foram coletadas. Já com relação às cascas obtidas do experimento agrônômico, foi possível obter uma série de informações:

**Local:** O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão - UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria - MS, com coordenadas geográficas aproximadas de 20° 22' de latitude (S) e 51° 22' de longitude (W), com altitude de 335 m, temperatura média de 23,6 °C, precipitação total de aproximadamente 1370 mm por ano e evapotranspiração potencial de 1226 mm. O solo utilizado é um latossolo vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2006), anteriormente ocupado pela cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.) e braquiária (*Brachiaria decumbens*).

**Instalação da Cultura:** O preparo do solo foi realizado com dessecação da cultura anterior e roçagem, com posterior semeadura direta dos cultivares de arroz Curinga e IAC 202. Utilizou-se espaçamento de 0,34 m entrelinha e densidade de semeadura de 70 sementes viáveis por metro. A semeadura foi realizada no dia 31 de outubro de 2006. Cada parcela foi constituída por 5 linhas de 5 m de comprimento e tendo como área útil as 3 linhas centrais, desprezando-se a 0,5 m em cada extremidade. As irrigações foram realizadas por meio de um sistema pivô central, em turnos e quantidades de água de acordo com a fase e necessidade hídrica da cultura. As adubações com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O foram baseadas na análise do solo do experimento (Tabela 9) e na tabela de recomendação de adubação para a cultura do arroz, para o Estado de São Paulo, utilizando 250 kg/ha de NPK (04-30-10) por hectare, a fim de alcançar a máxima produtividade.

Tabela 9- Características químicas do solo na camada de 0 a 0,20 m da área experimental.

P resina	M.O.	pH CaCl <sub>2</sub>	K	Ca	Mg	Acidez		SB	CTC	V
						Potencial H + Al	Al			
mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>					mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%
26	27	4,7	2,8	13	11	40	3	26,8	65,8	41

#### 4.1.2. CIMENTO

O cimento utilizado neste trabalho foi o CP V ARI da Holcim. Este cimento foi adotado em função do seu menor teor de adição e ser produzido com clínquer de alta eficiência, derivado de calcário de alta pureza e homogeneidade. Suas características físicas, químicas e mecânicas atendendo as normas da ABNT:

Tabela 10- Características Físico-químicas do cimento.

<b>Análise física de cimento Portland CP V ARI PLUS</b>					
Referência		23068	Especificações		
Amostra		63	NBR 5733		
Data da coleta		26/03/2008	min.	máx.	
Finura peneira 200 (% retida)		1,53	-	6,0	
Finura peneira 350 (% retida)		6,14	-	-	
Superf. espec. Blaine (cm <sup>2</sup> /g)		3766	3000	-	
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )		1,05	-	-	
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )		3,03	-	-	
Água de consistência da pasta	Gramas	152	-	-	
	(%)	30,4	-	-	
Início de pega (h:min)		02:05	01:00	-	
Expansão em auto-clave (%)		0,016	-	-	
Resistência à Compressão Axial	Consistência da argamassa	Gramas	150	-	-
		a/c	0,48	-	-
	Data da moldagem		01/04/2008	-	-
	Tensão (MPa)	03 dias	38,7	-	-
		07 dias	39,8	24,0	-
28 dias		51,7	34,0	-	
Análise Química (%)	Perda ao fogo		4,07	-	4,5
	Insolúveis		0,24	-	1,0
	SiO <sub>2</sub>		18,16	-	-
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,57	-	-
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		7,01	-	-
	CaO		62,95	-	-
	MgO		0,70	-	6,5
	SO <sub>3</sub>		3,11	-	3,5
	Na <sub>2</sub> O		0,18	-	-
	K <sub>2</sub> O		0,77	-	-
	Equiv alcalino Na <sub>2</sub> O		0,69	-	-
	Cal livre em Cao		1,67	-	-

### 4.1.3. ÁGUA

Foram utilizados dois tipos de água neste trabalho, uma para a mistura de pastas, argamassas e concretos, proveniente da rede de distribuição de água potável do Laboratório de Engenharia Civil da Cesp. E a outra, de origem da Universidade Estadual Paulista, UNESP, a qual passou por um processo de desionização para ser utilizada na lavagem das amostras de cascas de arroz.

### 4.1.4. AGREGADO MIÚDO

Para a composição dos traços de argamassas foi utilizado como agregado miúdo a areia normalizada (de origem do rio Tietê, classificada e comercializada pelo IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica). Esta areia apresentava um teor de umidade inferior a 2% e sua granulometria está disposta na Tabela 11:

Tabela 11- Frações da areia normalizada, segundo NBR 5752.

Peneiras	Porcentagem	Massa (g)	Massa Acumulada (g)
16	25	243	243
30	25	243	486
50	25	243	729
100	25	243	972

Além desta areia, também foi utilizada a areia natural, de origem do leito do Rio Paraná, para a confecção dos concretos. Realizou-se a caracterização deste agregado miúdo (Tabela 12) segundo as normas da ABNT. A análise granulométrica do agregado miúdo - NBR 7217 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), massa específica absoluta - NBR 9776 (ABNT, 1987), massa específica aparente - NBR 7810 (ABNT, 1983), massa específica na condição saturada superfície seca (S. S. S.) e ensaio de absorção - NM 52 (ABNT, 1996), materiais pulverulentos - NBR 7218 (ABNT, 1987) e matéria orgânica - NM 49 (ABNT, 1996).

Tabela 12- Caracterização do Agregado Miúdo.

Ø máx. (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária		absorção (%)	pulverulento (%)
		s.s.s. (g/cm <sup>3</sup> )	seca (g/cm <sup>3</sup> )	aparente (g/cm <sup>3</sup> )	solta (g/cm <sup>3</sup> )	4% de umidade (g/cm <sup>3</sup> )		
4,75	2,66	2,630	2,646	2,622	1,549	1,179	0,30	0,78

Sua disposição granulométrica é apresentada na Figura 12.

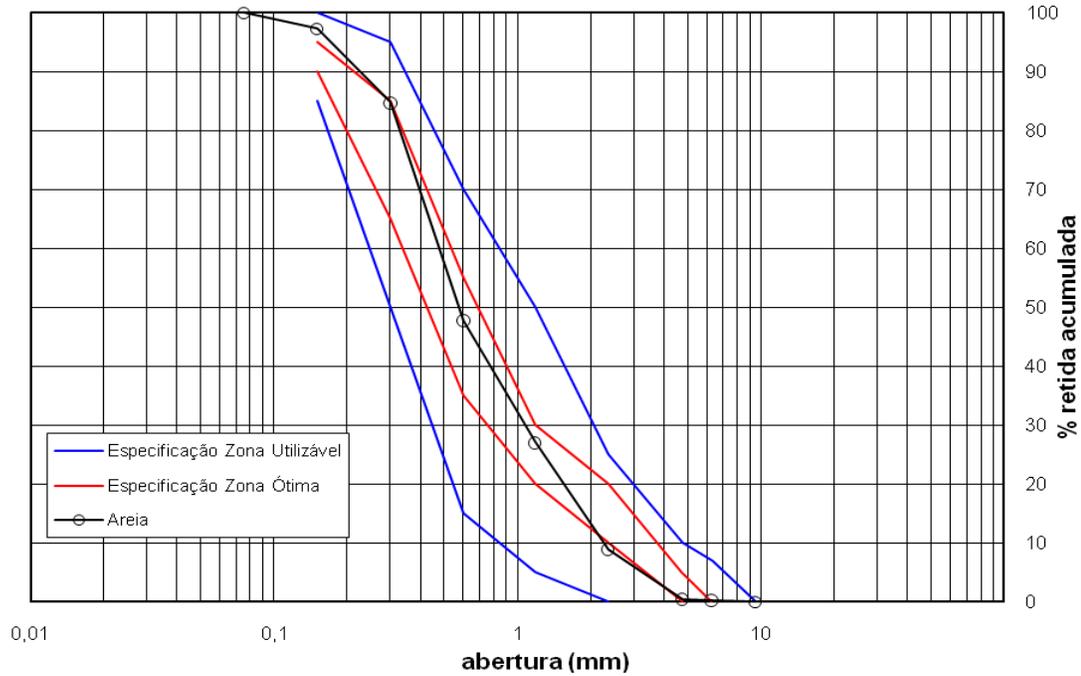


Figura 12- Curva granulométrica da Areia natural.

#### 4.1.5. AGREGADO GRAÚDO

Utilizou-se o agregado de origem basáltica, da Mineração Grandes Lagos, da região de Monções (SP), cuja caracterização seguiu as especificações da ABNT: análise granulométrica do agregado graúdo – NBR 7217 (ABNT, 1997), massa específica na condição saturada superfície seca (S. S. S.) e ensaio de absorção – NM 52 (ABNT, 1996), a massa específica absoluta – NBR 9937 (ABNT, 1996) e massa específica aparente – NBR 7810 (ABNT, 1983), materiais pulverulentos – NBR 7218 (ABNT, 1987) e matéria orgânica – NM 49 (ABNT, 1996). A composição granulométrica do agregado graúdo é apresentada na Tabela 13.

Tabela 13- Caracterização do Agregado Graúdo.

Ø máximo (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária (g/cm³)	absorção (%)	pulverulento (%)
		s.s.s. (g/cm³)	seca (g/cm³)	aparente (g/cm³)			
19,0	6,91	2,925	2,883	3,010	1,590	1,43	0,36

A curva granulométrica do agregado graúdo é apresentada na Figura 13.

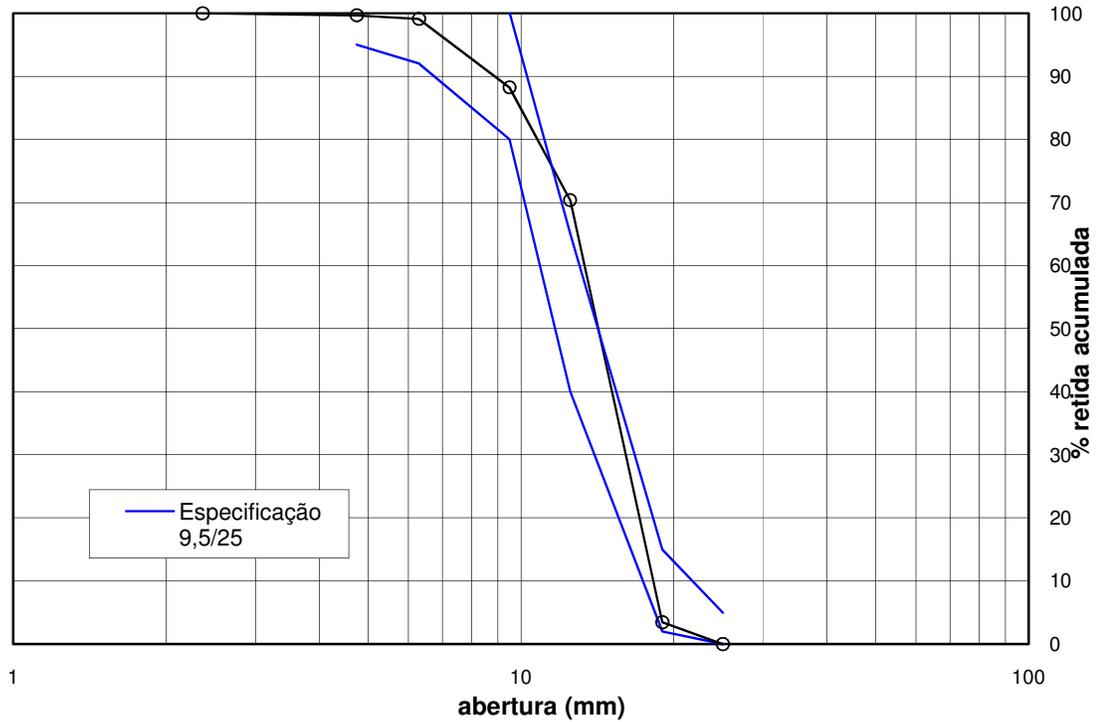


Figura 13- Curva granulométrica da Brita.

#### 4.1.6. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

No processo de moldagem das argamassas e concretos, utilizou-se um aditivo superplastificante redutor de água para manter constante a consistência de todos os traços em estudos sem prejudicar as relações água/materiais cimentantes. Isto foi adotado para que não existisse nenhum tipo de interferência no processo de moldagem dos corpos-de-prova. O superplastificante utilizado foi o policarboxilato Viscocrete 20 HE, produzido pela SIKA do Brasil. Ele apresenta teor de sólidos de 35% e a dosagem máxima recomendada é de 2% em relação à massa do cimento.

Tabela 14- Ficha técnica do Viscocrete 20 HE.

Aspecto Físico	líquido marrom claro
Densidade a 20 °C	1,080 ± 0,03 g/cm <sup>3</sup>
pH a 20 °C	4,3 ± 0,5
Conteúdo em Cloro	0,1%

#### 4.1.7. CINZAS DE CASCAS DE ARROZ

Neste trabalho, foram utilizadas três tipos de cinzas de cascas de arroz para a produção de pastas, argamassas e concretos. Uma CCA cristalina moída, uma CCA amorfa moída e a mesma CCA amorfa, mas passar por um processo de moagem (sem moer).

##### ➤ Cinza de casca de arroz cristalina moída

A cinza cristalina foi proveniente da empresa beneficiadora de arroz Josapar S. A., da região de Pelotas/RS. Neste local, a casca é utilizada como combustível no processo de parboilização dos grãos de arroz. A queima da casca de arroz se processa de maneira instantânea em fornalhas com grelhas. O resultado da queima apresenta uma cinza de casca de arroz de cor preta a cinza escuro (Figura 14). Após a queima, a CCA é transportada para o depósito a céu aberto, sendo a seguir, levada para os lixões.



Figura 14- Amostra de CCA cristalina moída.

Já no laboratório, a cinza foi levada para o processo de moagem em um moinho de bolas utilizado para produção de cimentos (Figura 15), localizado no Laboratório CESP de Engenharia Civil, em Ilha Solteira. O peso total de bolas do moinho (cilindros de 2x3 cm) é de aproximadamente 52,5 kg, sendo moídos 5,0 kg de CCA por vez. A distribuição do tamanho das partículas por granulometria a laser encontra-se em Barbosa (2006, p. 67), com um diâmetro médio de 12  $\mu\text{m}$ .

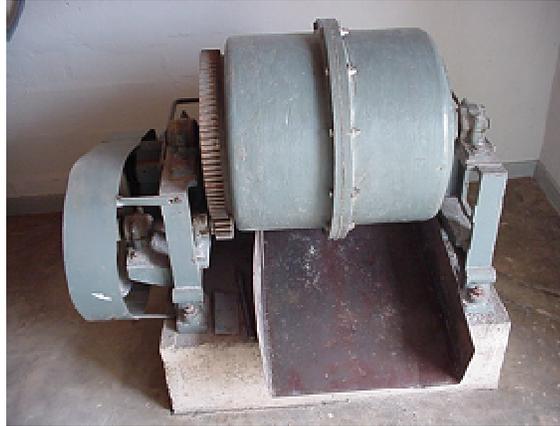


Figura 15- Moínho de bolas marca General Eletric, modelo 85R224D10.

Em virtude de pesquisas já realizadas pelo grupo MAC, foi adotado o tempo de 40 minutos de moagem da CCA cristalina, considerado como tempo ótimo que fornece a melhor relação tempo de moagem / menor granulometria. Chegou-se a esta conclusão após a realização de ensaios de granulometria a laser (diâmetro médio de  $12\mu\text{m}$ ) e ensaios mecânicos em argamassas.

#### ➤ **Cinza de casca de arroz amorfa moída**

Para a obtenção da CCA amorfa, foi utilizado o forno desenvolvido pelo grupo MAC e caracterizado por Silva (2004) e Tashima (2006). É importante ressaltar que neste forno não há controle de temperatura na queima da casca. A casca de arroz foi fornecida pela empresa de beneficiamento de arroz da cidade de Três Lagoas, sendo originada da região de Dourados/MS.

A queima da casca foi por autocombustão e realizada no Laboratório de Engenharia Civil da UNESP. A quantidade de casca queimada por vez foi de aproximadamente 12 kg, com um rendimento médio de CCA de 10% deste total.

A queima total do volume de casca no forno ocorreu durante 36 h e a CCA só foi retirada após o resfriamento do forno. Através de termopares foi possível fazer medidas da temperatura ao longo deste processo e constatou-se que a mesma atingiu  $850\text{ }^\circ\text{C}$ , ficando acima dos  $600\text{ }^\circ\text{C}$  durante aproximadamente 18 h, conforme SILVA (2004, p. 69).

Após a obtenção desta CCA, ela foi submetida ao mesmo processo de moagem utilizado para a CCA cristalina. Verificou-se que o tempo ótimo, assim como para a CCA cristalina, foi de 40 minutos.

A Figura 16 apresenta uma amostra de CCA após passar pelos processos de queima e moagem:



Figura 16- Amostra de CCA amorfa moída.

➤ **Cinza de casca de arroz amorfa sem moer**

A CCA sem moer é exatamente a mesma CCA amorfa descrita anteriormente; a única diferença é que não houve a etapa da moagem, ou seja, sua granulometria é a mesma em que se encontra na condição natural. Visivelmente é possível perceber a diferença entre os três materiais estudados neste trabalho (Figura 17).

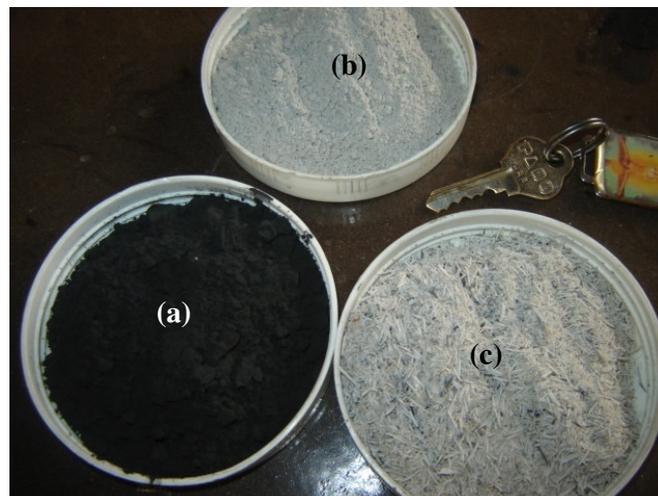


Figura 17- CCA cristalina Moída (a); CCA amorfa moída (b); CCA amorfa sem moer (c).

## 4.2. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

### 4.2.1. OBTENÇÃO E TRATAMENTOS DAS CASCAS DE ARROZ

Para a conclusão do objetivo 1 deste trabalho, a primeira etapa realizada foi acompanhar a colheita da planta de arroz na fazenda da agronomia da UNESP, e coletar a amostra do Estado do Maranhão e a outra da Região de Dourados, Mato Grosso do Sul.

Após a colheita, o arroz foi submetido aos processos de trilhagem e beneficiamento para posterior aproveitamento das cascas (Figura 18).



Figura 18- Máquina de trilhagem e Máquina de beneficiamento de arroz.

Com a obtenção das amostras de casca de arroz, as mesmas passaram por um processo de lavagem a fim de constatar possíveis impurezas na água de lavagem. Para tanto foi utilizada uma água desionizada purificada por osmose reversa (Figura 19).



Figura 19- Purificador de água por osmose reversa e Lavagem da Casca.

Essa lavagem foi feita de forma manual em uma proporção em volume de 2 de água para 3 de casca. Após a mistura manual com espátula por cinco minutos, a água de lavagem foi peneirada e filtrada em papel filtro. Depois disso, as águas de lavagem foram evaporadas até a secagem e, em seguida, levadas à uma mufla e calcinadas a 650 °C por quatro horas.

Para a calcinação das amostras de cascas de arroz, o sistema de queima utilizado foi a mufla com o controle de temperatura, taxa de aquecimento e patamar de temperatura para que as condições de queima fossem exatamente as mesmas para todas as amostras de casca de arroz.

Buscou-se, através deste sistema de queima, obter CCAs amorfas e com baixo teor de carbono, ou seja, características que favorecessem sua utilização como pozolana em argamassas e concretos. Para tanto, testes em mufla (Figura 20) foram realizados no sentido de determinar qual seria o procedimento de queima ótimo. Avaliou-se o tempo, o patamar de temperatura ótima, a taxa de aquecimento, a perda de massa e a propriedade cristalográfica.



Figura 20- Muflas marca Marconi utilizadas na calcinação e amostras de cascas de arroz.

Della et al (2005 p. 23) fizeram diversas configurações de temperatura de queima/tempo de queima. Os autores trabalharam com CCA calcinada desde 400 °C até 700 °C, com os tempos de 1, 3 e 6 horas, conforme a Tabela 15:

Tabela 15- Temperatura e tempo de calcinação.

Amostras	Composição em Óxidos (% em massa)										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF*
CCA 1	72,10	0,30	0,15	0,43	0,05	0,72	0,15	0,05	0,70	0,06	24,30
CCA 4/1	89,75	0,68	0,21	0,50	0,16	0,92	0,15	0,01	0,86	0,71	6,05
CCA 4/3	93,19	0,41	0,24	0,53	0,19	0,95	0,16	0,01	0,90	0,74	2,67
CCA 4/6	93,21	0,42	0,25	0,53	0,19	0,96	0,16	0,01	0,87	0,77	2,63
CCA 5/1	93,83	0,39	0,26	0,52	0,21	0,94	0,15	0,01	0,88	0,75	2,06
CCA 5/3	93,97	0,39	0,25	0,52	0,14	0,95	0,15	0,01	0,89	0,72	1,92
CCA 5/6	93,95	0,45	0,26	0,51	0,20	0,94	0,15	0,01	0,89	0,72	1,92
CCA 6/1	94,09	0,38	0,26	0,53	0,17	0,94	0,16	0,01	0,88	0,77	1,82
CCA 6/3	94,47	0,37	0,26	0,52	0,17	0,95	0,16	0,01	0,85	0,75	1,50
CCA 6/6	94,54	0,42	0,25	0,53	0,21	0,94	0,16	0,01	0,84	0,73	1,38
CCA 7/1	94,58	0,55	0,28	0,54	0,24	0,96	0,17	0,02	0,88	0,73	1,05
CCA 7/3	94,67	0,41	0,26	0,58	0,25	0,95	0,17	0,02	0,91	0,81	0,97
CCA 7/6	94,95	0,39	0,26	0,54	0,25	0,94	0,16	0,02	0,90	0,74	0,85

Fonte: Della et al (2005 p. 23)

Os autores concluíram que o procedimento que confere uma sílica com maior grau de pureza é o da última linha, com 700 °C e o tempo de 6 h. Contudo, para este trabalho foi feita uma interpolação destes resultados e utilizou-se uma temperatura de queima de 650 °C com o tempo de 4 horas para todas as amostras de casca de arroz, pois com esta configuração já se alcança resultados satisfatórios (coloração clara e com arranjo molecular amorfo, segundo ensaio de difração de Raio-X). Para este trabalho, a taxa de aquecimento também foi avaliada, conforme a Tabela 16:

Tabela 16- Estudo da Taxa de Aquecimento para Calcinação.

Processo	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Taxa de aquecimento (°C/min)	Perda de Massa (%)	Coloração	Difração De Raio-X
1	650	4	1	82,87	Clara	Amorfa
2	650	4	5	82,45	Clara	Amorfa
3	650	4	10	82,19	Clara	Amorfa
4	650	4	15	82,00	Clara	Amorfa

Para a calcinação das amostras: SA 50, SA 200, UR 50, UR 200, ET 200, MA e MS foi adotado o processo 4 da Tabela 16, visto que se obteve uma CCA com mesmas características utilizando-se um procedimento mais rápido e econômico. A pequena variação da perda de massa se deve ao fato de a queima ser mais lenta para a taxa de aquecimento de 1 °C/min.

Com o procedimento ótimo determinado, todas as amostras de casca de arroz foram calcinadas e posteriormente moídas para a realização dos ensaios de análise química por absorção de massa atômica e Difração de Raio-X. É importante ressaltar que as amostras de casca de arroz foram calcinadas sem o processo de lavagem, pois tal atividade poderia prejudicar a avaliação das influências estudadas para se alcançar o objetivo 1 da pesquisa.

#### 4.2.2. ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA

O espectrofotômetro de absorção atômica foi utilizado para determinar quantitativamente os óxidos presentes em cada amostra de casca de arroz calcinadas em mufla, além das três CCAs (cristalina moída, amorfa moída e amorfa sem moer) utilizadas na Etapa 2 deste trabalho. A Figura 21 mostra o equipamento utilizado para a determinação desses óxidos.



Figura 21- Espectrofotômetro de Absorção Atômica marca Perkin Elmer modelo Analyst 200.

#### 4.2.3. DIFRACTÔMETRO DE RAIOS-X

A difração de Raios-X foi utilizada para a determinação da composição mineralógica das pozolanas em estudo. O difractômetro de raios-X (Figura 22), foi empregado com radiação  $K_{\alpha}$  de Cu e monocromador secundário (filtro de níquel) que elimina a radiação  $K_{\beta}$  de Cu. A voltagem e a intensidade do tubo gerador de Raios-X foram ajustadas em 40 KV e 20 mA, respectivamente.

As amostras foram ensaiadas em um suporte de alumínio e, os registros foram efetuados em um intervalo  $2\theta$  entre  $5^{\circ}$  e  $60^{\circ}$ , com um intervalo de ângulo de  $2\theta$  de  $0,02$  e um tempo de acumulação de 2.



Figura 22- Diffractômetro de Raios-X marca Shimadzu, modelo XRD - 6000.

#### 4.2.4. CONFECÇÃO DE COMPÓSITOS COM CCA

Para a obtenção do objetivo 2 deste trabalho, utilizou-se quatros traços, a saber:

- **Traço Controle (Sem CCA - CT)**
- **Traço com CCA amorfa moída (CCA 10% - AM)**
- **Traço com CCA amorfa sem moer (CCA 10% - ASM)**
- **Traço com CCA cristalina moída (CCA 10% - CM)**

Estes traços foram utilizados na confecção de pastas, argamassas e concretos; as propriedades no estado fresco e endurecido foram verificadas para cada tipo de compósito. Em virtude de pesquisas realizadas anteriormente pelo grupo MAC, adotou-se o teor de 10% de substituição em relação ao cimento para todos os compósitos.

#### 4.2.5. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÀS PASTAS

Para o estudo da influência das CCAs AM, ASM e CM em pastas, adotou-se o ensaio de determinação dos tempos de início e fim de pega.

A pega refere-se às transformações na pasta de cimento, argamassa ou concreto, de um material fluido para um sólido rígido. A pega é uma transformação gradual e progressiva controlada pela hidratação do cimento. São muito importantes a previsão e o controle do tempo de pega durante a fabricação do concreto para que este permaneça trabalhável por tempo suficiente para que seja moldado, mas não tão longo a ponto que a remoção das formas seja excessivamente retardada.

O começo da solidificação chamado início de pega indica o ponto em que a pasta se torna não trabalhável. Já o tempo necessário para solidificar completamente a argamassa marca o tempo de fim de pega. Os tempos de início e fim de pega são determinados através do aparelho de Vicat, que mede a resistência de uma pasta de cimento com consistência padrão à penetração de uma agulha sob uma carga total de 300 gf. O ensaio é normatizado pela NBR NM 65 (ABNT, 2003).

A pasta é de composta cimento e água e sua composição aparece na Tabela 17. Sendo 500 g de cimento para o traço controle, para os demais traços, 10% de substituição em relação à massa e a quantidade de água foi determinada utilizando um Aparelho de Vicat. É importante ressaltar que as massas específicas das CCAs amorfa e cristalina são muito próximas, 2,15 e 2,16 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, o que mantém a relação de volume dos traços muito semelhantes.

Tabela 17- Composição da pasta.

<b>Traço</b>	<b>Cimento (g)</b>	<b>CCA (g)</b>
CT	500	0
AM	450	50
ASM	450	50
CM	450	50

#### ***Ordem de colocação dos materiais***

Inicialmente, coloca-se na cuba da argamassadeira o material aglomerante (cimento mais CCA homogeneizados manualmente) e a água, para iniciar a batida em trinta segundos, pois as reações de hidratação se iniciam logo no início da mistura entre o cimento e a água. Passados os trinta segundos iniciais, liga-se a argamassadeira em velocidade baixa por mais trinta segundos. Depois, mais trinta segundos em velocidade alta. Após este tempo, 1,5 minutos, desliga-se a argamassadeira e raspa-se a pasta aderida à parede da cuba com espátula para garantir a manutenção do volume total da pasta. 1,5 minutos após início dessa mistura manual, a argamassadeira deve ser ligada por mais 1 minuto em velocidade alta. Após 4 minutos, a pasta está pronta para ser moldada.

#### ***Determinação da quantidade de água utilizando o aparelho de Vicat***

Coloca-se a pasta (cimento + quantidade de água a determinar) em um molde troncônico, e desce-se a carga da agulha de 300 gf sobre a pasta colocada no molde troncônico. Se o indicador do Aparelho de Vicat constatar uma leitura de 6 mm, com margem de erro de +/- 1 mm, a condição da norma está satisfeita, quanto à consistência da pasta.



Figura 23- Determinação da quantidade de água.

A Figura 24 apresenta a demanda de água necessária para alcançar a consistência adequada para o ensaio.

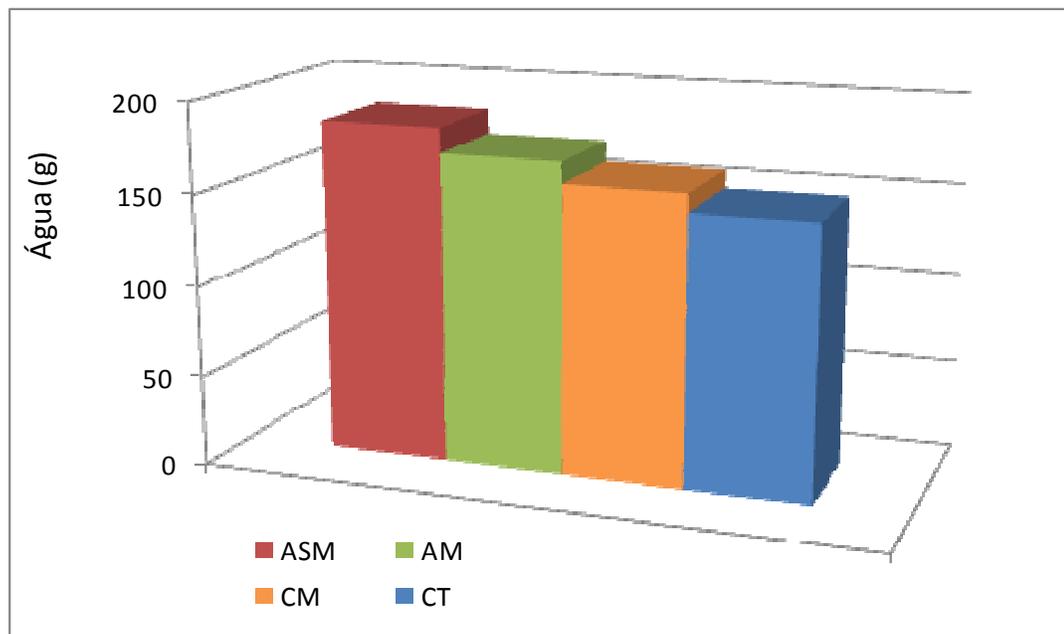


Figura 24- Quantidade de água necessária para a consistência normal da pasta.

De acordo com a Figura 24, observa-se que a presença da CCA exige uma maior quantidade de água para se alcançar a consistência desejada para execução do ensaio. Assim como foi relatado por Rêgo (2004), é verificado que na pasta com a CCA amorfa moída substituindo o cimento, esse efeito é mais pronunciado que na pasta com a CCA cristalina moída.

Como, de acordo com o ensaio de granulometria a laser, as granulometrias destas duas CCA são muito próximas (diâmetro médio de 12  $\mu\text{m}$ ), isso pode ser atribuído a diferenças

micro-estruturais entre as CCAs amorfa e cristalina. Esse efeito fica reforçado, pois embora a CCA cristalina apresente uma quantidade de carbono superior à CCA amorfa, exigiu menos água para a realização do ensaio.

Já a pasta com CCA amorfa sem moer necessitou de uma quantidade maior de água dentre todas as pastas. Tibone (2007, p. 119) encontrou resultados semelhantes com CCAs sem moer em relação às moídas, sendo que a autora verificou que em todos os teores avaliados (5, 10 e 15% de substituição), a CCA sem moer necessitou de mais água que a CCA moída para a mesma consistência da pasta.

A Figura 25 permite visualizar este efeito, pois a estrutura interna extremamente porosa da CCA faz com que a quantidade de água aumente muito quando ela se encontra na sua forma natural.

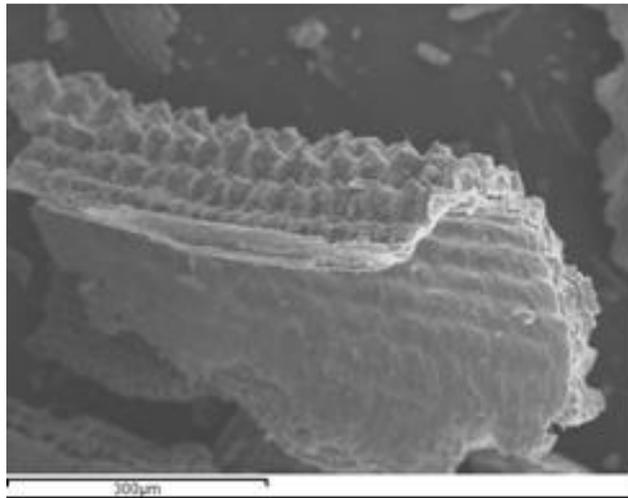


Figura 25- Micrografia da cinza de casca de arroz sem moer.  
Fonte: Tashima (2006, p. 54)

### ***Tempo de Início de pega***

Verifica-se o início de pega no momento em que a agulha estaciona em uma determinada posição (1 mm da base), realizando-se então uma leitura, ou seja, o tempo de início de pega, que é o intervalo de tempo em que se lançou a água de amassamento à pasta e o instante em que se constatou a leitura indicativa do aparelho de Vicat.

### ***Tempo de Fim de pega***

Constatado o início de pega, leituras regulares devem ser feitas e assim que a primeira entre 3 leituras sucessivas e iguais, maiores que 38 mm, tem-se a indicação do fim de pega.

Sendo assim, tempo de fim de pega é o intervalo decorrido entre o instante em que se lançou a água de amassamento à pasta e o instante em que se verificou a leitura indicativa do aparelho de Vicat.



Figura 26- Constatação do fim de pega.

#### 4.2.6. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÀS ARGAMASSAS

Para a análise do desempenho das CCAs em argamassas foram realizados dois ensaios:

- Resistência à Compressão
- Absorção de água por Capilaridade

Os procedimentos de mistura, moldagem, adensamento e cura das argamassas seguiram as especificações da norma NBR 7215 (ABNT, 1996).

O traço controle de argamassa foi de 1:3 (em massa), com uma relação água/aglomerante igual a 0,5. A partir deste traço controle foram elaborados os demais traços que utilizavam as CCAs: AM, ASM e CM, ressaltando que a utilização das pozolanas foi feita substituindo em relação à massa do cimento.

A consistência fixada foi aquela obtida no traço controle (225 +/- 5 mm) sem a utilização de aditivos redutores de água. Nos demais traços, para atingir a mesma consistência e manter a mesma relação água/aglomerante, foi utilizado o aditivo superplastificante VISCOCRETE 20 HE (Tabela 14). A opção de manter a consistência fixa foi adotada para evitar problemas de compactação das argamassas, fato que pode ser responsável por alterações nas resistências mecânicas das mesmas. A Tabela 18 mostra os traços de argamassas utilizados.

Tabela 18- Composição das argamassas.

Relação a/c=0,50	CONTROLE	CCA AM	CCA ASM	CCA CM
Aditivo (%)	0	0,30	0,65	0,15
Água (g)	750	750	750	750
Areia (g)	4500	4500	4500	4500
Cimento (g)	1500	1350	1350	1350
CCA (g)	0	150	150	150
FLOW (mm)	225	227	223	225

É importante constatar na Tabela 18 que para manter o mesmo índice de consistência das argamassas, o traço AM necessitou do dobro do consumo de aditivo que o traço CM, e por sua vez, o traço ASM precisou do dobro de aditivo do traço AM para manter seu índice de consistência dentro do estipulado. Isso pode ser atribuído às diferenças micro-estruturais entre as CCAs utilizadas, fato este, já constatado nas pastas durante a determinação de água para o ensaio de tempos de início e fim de pega.

#### 4.2.7. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão é, em geral, a propriedade mais importante dos compósitos à base de cimento Portland porque está diretamente ligada à estrutura interna do material, fornecendo uma importante estimativa sobre sua durabilidade. Além disso, a resistência à compressão é uma propriedade dos materiais exaustivamente estudada, o que permite efetuarem-se comparações e correlações com outras pesquisas, além do ensaio ser de fácil execução em laboratório. Foram confeccionados para este ensaio 4 corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 5 x 10 centímetros (Diâmetro x Altura) para cada traço, para serem ensaiados nas idades de 3, 7, 28 e 56 dias. O ensaio seguiu as recomendações da NBR 7215 (ABNT, 1996).

##### *Ordem de colocação dos materiais*

Com o misturador mecânico desligado foram adicionados a água, aditivo redutor de água e o aglomerante (cimento mais CCA homogeneizados manualmente). Em seguida, o misturador foi ligado e misturaram-se os componentes durante trinta segundos. Com o equipamento ainda ligado, tinha-se mais trinta segundos para adicionar o agregado e misturador funcionou por mais trinta segundos na velocidade alta, até ser desligado.

Em seguida, tinha-se quinze segundos para remover o excesso da argamassa que adere à parede da cuba e mais 1 minuto e quinze segundos para deixar a mistura em descanso. O

misturador foi então novamente ligado girando na velocidade alta durante 1 minuto. É importante citar que para o traço com a CCA sem moer, foi acrescentado mais 1 minuto em velocidade alta a fim aumentar a possibilidade de diminuição do tamanho das partículas de CCA pelo atrito entre a mesma e o restante de materiais da argamassa.

### ***Verificação da consistência***

Depois de realizada a mistura, lubrificou-se a mesa do aparelho de consistência (Figura 27) com óleo mineral e colocou-se sobre ela a fôrma tronco-cônica, com sua base maior apoiada na mesa. Manteve-se a fôrma na mesma posição enquanto colocava-se a argamassa na fôrma, com auxílio de uma espátula. Com o soquete, deram-se, 15, 10 e 5 golpes distribuídos, respectivamente nas 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> camadas.

Terminou-se esta operação com o acabamento do topo do corpo-de-prova (cp) por meio do deslizamento da espátula sobre as bordas do molde troncônico. Após a regularização, retirou-se a fôrma levantando-a verticalmente e, em seguida, moveu-se a manivela do aparelho, fazendo com que este caísse 30 vezes em 30 segundos. Após este processo, com um paquímetro realizou-se a leitura da porção de argamassa que se abriu, e uma vez que esta leitura se enquadre na abertura fixada (consistência), foi possível moldar os corpos-de-prova.



Figura 27- Mesa do aparelho de consistência.

### ***Moldagem, cura e execução do ensaio***

Para a moldagem dos corpos-de-prova foram utilizadas quatro camadas de 30 golpes com soquete cilíndrico. Após o enchimento, os moldes foram rasados com uma espátula. A cura se deu em duas etapas: nas primeiras 24 horas, nos moldes, à temperatura de  $(21 \pm 2)$  °C (Figura 28). A segunda etapa foi realizada com a imersão dos cps em água até a idade de ruptura desejada.



Figura 28- Cps em cura nos moldes.

Observando a Figura 28, fica claro que os corpos-de-prova moldados com a CCA CM (atrás), ficaram mais escuros. Isso poderia acarretar em problemas estéticos, se essa argamassa fosse utilizada de forma aparente. Enquanto isso, tanto a CCA AM quanto a ASM mantêm a mesma coloração da argamassa do traço controle.

Após a idade desejada, os corpos-de-prova foram capeados a quente com enxofre e, logo a seguir, ensaiados à compressão (Figuras 29 e 30).



Figura 29- Instrumentos para capeamento.



Figura 30- Máquina para ruptura dos cps marca Maruto.

### ***Tratamento Estatístico dos Resultados***

Para fazer este tratamento, utilizou-se a especificação da NBR 7215 (ABNT, 1996), ou seja, para calcular o desvio relativo máximo da série de quatro resultados, deve-se dividir o valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média, para mais ou para menos, pela resistência média e multiplicando este quociente por cem. A porcentagem obtida deve ser arredondada ao décimo mais próximo. Quando o desvio relativo máximo for superior a 6%, deve-se calcular uma nova média, desconsiderando o valor discrepante. Persistindo o fato, devem-se eliminar os corpos-de-prova de todas as idades, devendo o ensaio ser repetido.

### **4.2.8. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE**

Este ensaio seguiu as especificações descritas na norma UNE – EN 1015-18 (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, 2003), que tem por objetivo determinar o coeficiente de absorção por capilaridade de argamassas. Esta metodologia foi adotada, pois no ensaio de absorção por imersão, pode haver uma dificuldade do resultado representar a condição real de absorção de argamassas quando se busca investigar o comportamento de adições minerais, visto que a camada externa do corpo-de-prova é composta basicamente por pasta, em função do processo de adensamento no molde.

Para a realização deste ensaio foram moldados dois corpos-de-prova para cada traço com dimensões de 25 x 25 x 285 mm (Figura 31). Após a desmoldagem, eles rompidos ao meio e imersos em água durante 28 dias.



Figura 31- Desmoldagem dos corpos-de-prova.

De acordo com a norma, através da seção rompida torna-se possível obter o coeficiente de absorção, visto que o corpo-de-prova, após seco em estufa e pesado, é imerso 10 mm em água com a parte da seção rompida (Figura 32).



Figura 32- Execução do ensaio de absorção por capilaridade.

Após 90 minutos imersos, eles são retirados, secos com um pano úmido e pesados novamente em balança com sensibilidade de 0,01g.

O coeficiente de absorção por capilaridade é calculado pela seguinte expressão:

$$C = 0,1(M_2 - M_1) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}) \quad (1)$$

Onde:  $M_1$  = Massa inicial

$M_2$  = Massa Final

#### 4.2.9. PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS CONCRETOS

Para a análise do desempenho das CCAs, foram efetuados três ensaios no concreto fresco e três no concreto endurecido.

- Abatimento do tronco de cone;
- Determinação do ar incorporado;
- Massa específica;
- Resistência à compressão;
- Módulo de elasticidade;
- Resistência à tração por compressão diametral.

No sentido de verificar a aplicação da CCA ASM, produzida sem controle de temperatura, para a aplicação de concretos de alto desempenho (CAD), foram feitos testes na seqüência de colocação dos materiais na betoneira. De acordo com Martins (2005 p. 69), a ordem ideal para a confecção de CAD é a seguinte:

1. Coloca-se o agregado graúdo + água + CCA e liga-se a betoneira por 1 minuto;
2. Desliga-se a betoneira e coloca-se o cimento e o agregado miúdo e liga-se novamente durante 2 minutos;
3. Em seguida, adiciona-se o aditivo redutor de água com a betoneira funcionando e deixa o concreto misturando por mais 10 minutos.

Este procedimento foi adotado para os traços CT, AM e CM; contudo, para o traço ASM foram testadas alternativas no processo que viabilizassem a utilização da cinza de casca de arroz in natura, ou seja, sem a necessidade de passar pelo processo de moagem. Para tanto, foram realizadas mudanças no item 1 quanto a ordem de colocação dos materiais na betoneira foram realizadas:

- A. Agregado graúdo +água+CCA ASM com a betoneira ligada por 1 minuto, traço CCA ASM 1;
- B. Agregado graúdo +água+CCA ASM com a betoneira ligada por 5 minutos, traço CCA ASM 5;
- C. Agregado graúdo +água+CCA ASM com a betoneira ligada por 10 minutos, traço CCA ASM 10.

Somente o item 1 sofreu alteração no processo de confecção; os itens 2 e 3 permaneceram da mesma forma.

O traço de concreto utilizado neste trabalho foi desenvolvido por Barbosa (2006) e adaptado para este trabalho. Trata-se de um traço de concreto de alto desempenho e com elevada trabalhabilidade a fim de se obter uma boa aplicabilidade prática, seu abatimento foi de 200+/-20 mm. A composição do traço está descrito na Tabela 19.

Tabela 19- Composição dos traços de concreto.

Consumo de materiais por m <sup>3</sup>	CONTROLE	CCA AM	CCA ASM (1, 5 e 10)	CCA CM
Aditivo (%)	0,40	0,90	0,90	0,55
Água (kg)	171,00	166,00	166,00	166,00
Areia (kg)	815,00	815,00	815,00	815,00
Brita (kg)	1080,00	1080,00	1080,00	1080,00
Cimento (kg)	444,50	400,05	400,05	400,05
CCA (kg)	0	31,45	31,45	31,45

De acordo com a Tabela 19, o consumo do aditivo redutor de água para o traço CM foi superior ao traço CT, enquanto que as CCAs amorfas necessitaram de uma quantidade significativamente superior ao traço CT, fato já constatado por Barbosa (2006, p. 79).

Contudo, verifica-se que para os traços ASM 1, ASM 5 e ASM 10, o teor de aditivo empregado foi o mesmo do traço AM, o que indica que o efeito do contato (atrito) da brita com as CCAs na betoneira foi suficiente para diminuir a absorção de água pela CCA, quando a mesma se encontra em sua condição natural.

Os corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões de 10 x 20 centímetros, foram moldados e curados (Figura 33) em conformidade com a NBR 5738 (ABNT, 2003), sendo que todos contaram com o auxílio de mesa vibratória. Para todos os traços, foram confeccionados 3 cps para cada idade em cada ensaio.



Figura 33- Cura dos cps em câmara úmida.

#### 4.2.10. ENSAIOS DO CONCRETO FRESCO

##### *Tronco de Cone*

A consistência do concreto foi verificada pelo abatimento do tronco de cone, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). A Figura 34 apresenta o abatimento fixado para os traços de concreto utilizados neste trabalho com 200 +/- 20 mm.



Figura 34- Abatimento do Tronco de Cone.

##### *Ar incorporado*

Para a determinação do ar incorporado nos concretos, utilizou-se um aparelho medidor do tipo de pressão (Figura 35), em acordo com a NBR NM 47 (ABNT, 2002).



Figura 35- Medidor de Ar.

**Massa Específica**

A massa específica dos concretos foi verificada de acordo com a NBR 9833 (ABNT, 1987), que se utiliza de uma balança (Marca Toledo e sensibilidade de 0,01 g) e um recipiente metálico próprio para tal determinação (Figura 36).



Figura 36- Determinação da Massa Específica.

A Tabela 20 apresenta os resultados dos ensaios realizados nos concretos frescos. Como se pode observar, não houve grandes variações dos traços utilizados neste trabalho, sendo que as discretas alterações podem ser atribuídas às diferentes condições climáticas nas quais os concretos foram confeccionados.

Tabela 20- Ensaio realizado no concreto fresco.

<b>TRAÇO</b>	<b>AR INCORPORADO (%)</b>	<b>MASSA ESPECÍFICA kg/m<sup>3</sup></b>
<b>CT</b>	2,55	2462
<b>AM</b>	2,30	2479
<b>CM</b>	2,55	2450
<b>ASM 1</b>	2,55	2462
<b>ASM 5</b>	2,30	2452
<b>ASM 10</b>	2,30	2469

#### 4.2.11. ENSAIOS DO CONCRETO ENDURECIDO

Anteriormente ao ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade, os corpos-de-prova foram capeados com composto de enxofre de alta resistência, como apresentado na Figura 37, a fim de tornar suas faces planas e paralelas, e assim eliminando a possível excentricidade quando da aplicação do carregamento.



Figura 37- Corpo-de-prova capeado com enxofre.

#### *Resistência à Compressão*

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a norma NBR 5739 (ABNT, 1994). As idades do ensaio foram: 7, 28, 56 e 90 dias, após a cura em câmara úmida. A Figura 38 mostra a prensa com capacidade de 100 toneladas força para a execução do ensaio:



Figura 38- Máquina para ensaio marca Wolpert.

O mesmo tratamento estatístico utilizado para argamassa foi aplicado ao concreto.

### ***Módulo de Elasticidade***

O módulo de elasticidade foi obtido atendendo às recomendações da NBR 8522 (ABNT, 2003). Ele foi realizado na idade de 28 dias dos concretos. A Figura 39 mostra a execução do ensaio com a presença de relógios medidores de deformação.



Figura 39- Execução do ensaio de Módulo de Elasticidade.

### ***Resistência à Tração por compressão diametral***

Para a obtenção da resistência à tração por compressão diametral, utilizou-se a norma NBR 7222 (ABNT, 1994). Este ensaio foi realizado aos 28 dias de idade dos concretos (Figura 40).



Figura 40- Execução do ensaio à tração por compressão diametral.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. INFLUÊNCIAS DAS VARIÁVEIS NA CCA

#### 5.1.1. ÁGUA DE LAVAGEM DAS CASCAS DE ARROZ

De acordo com Della et al (2006 p. 1175), é importante que a casca de arroz passe por um processo de lavagem com água deionizada para a remoção de sujeiras superficiais (poeira e solo) e outros contaminantes possivelmente presentes.

Isto ficou bastante explícito neste trabalho, pois uma das amostras, a casca de arroz MA, apresentou uma coloração cinza escura quando calcinada sem a lavagem. No entanto, após os processos de lavagem e calcinação, sua coloração ficou mais clara. Fato este, que não foi observado nas demais amostras de cascas de arroz (SA 50, SA 200, UR 50, UR 200, ET 200 e MS), pois todas mantinham sua coloração clara, tanto com lavagem, quanto sem este processo.

Após os tratamentos realizados na água de lavagem, observou-se que o resíduo resultante da água de lavagem da casca MA, apresentou coloração azulada bem mais acentuada que nas demais. Aos resíduos foi adicionado  $\text{HNO}_3$  diluído em água e, posteriormente, neutralizados com  $\text{NH}_4\text{OH}$  diluído ao papel tornassol. Na neutralidade, parte do resíduo da amostra MA floculou de uma forma bem mais acentuada que nas outras amostras, o que pode ser indício da presença de materiais metálicos.

Della et al (2006 p. 1178) afirmam que em processos de lixívia ácida e lavagem, as impurezas metálicas são dissociadas e posteriormente removidas. Sem a presença destas impurezas, o carbono é liberado normalmente durante a calcinação, pois ele deixa de ser aprisionado dentro da fase líquida formada na superfície das partículas de cinza pela dissociação e posterior fusão dos óxidos metálicos fundentes (KRISHNARAO et al, 2001).

### 5.1.2. ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA

Além das amostras descritas anteriormente, calcinadas em mufla, também se apresenta o resultado das características químicas por absorção de massa atômica das duas CCAs utilizadas na Etapa 2 deste trabalho: a amostra MS, calcinada no forno sem controle de Temperatura (MS Forno), e a CCA proveniente da empresa beneficiadora de arroz Josapar S. A., da região de Pelotas/RS, que já chegou calcinada (RS). Para complementar os dados, também foi feita análise química da amostra MA calcinada em forno.

A Tabela 21 apresenta o resultado das análises químicas de todas as amostras de CCA avaliadas.

Tabela 21- Resultado das Análises Químicas das CCAs.

Ensaio		MS - Forno	MA - Forno	RS	MS	MA	SA 50	SA 200	UR 50	UR 200	ET 200	Especificações NBR-12653	
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )		2,15	n/d	2,16	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	mínimo	máximo
Análise Química (%)	Perda ao fogo	3,79	4,31	6,17	1,69	3,00	3,06	2,28	3,02	2,34	2,46	-	6
	SiO <sub>2</sub>	90,37	90,54	88,55	94,88	93,00	93,42	89,58	90,65	93,41	92,21	-	-
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,43	0,24	0,74	0,21	0,16	0,23	0,02	0,13	0,41	0,13	-	-
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	0,13	1,74	0,31	0,52	0,22	0,58	0,25	0,15	0,37	-	-
	CaO	1,25	0,04	1,11	0,14	0,04	0,04	0,04	0,04	1,34	0,04	-	-
	MgO	0,27	0,20	0,32	0,20	0,20	0,33	0,36	0,40	0,33	0,40	-	-
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,55	0,38	2,45	0,52	0,68	0,45	0,60	0,38	0,56	0,50	-	-
	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	91,28	90,92	91,00	95,40	93,68	93,87	90,18	91,03	93,97	92,71	70	-
	Na <sub>2</sub> O	0,02	0,05	0,13	0,01	0,12	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	-	-
	K <sub>2</sub> O	0,48	1,08	0,36	0,24	0,60	0,48	0,68	0,13	0,48	0,48	-	-
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,50	1,13	0,49	0,25	0,72	0,49	0,70	0,14	0,50	0,50	-	-	

Fazendo-se uma análise geral dos resultados, observa-se que todas as apresentaram teor de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  acima da quantidade mínima exigida pela NBR 12653, que é de 70%, com todas as amostras situando-se acima de 90% destes constituintes, o que está de acordo com a literatura. Independentemente das variáveis envolvidas no processo, a quantidade de sílica presente na CCA mostrou-se bastante elevada.

Com relação ao item perda ao fogo, uma das amostras, a RS, apresentou-se acima do limite máximo estipulado pela norma que é 6%. Isso pode ser atribuído à maneira com a qual a casca foi queimada (queima instantânea, que aprisiona o carbono devido à fusão de óxidos metálicos antes da oxidação do carbono). A amostra MA, que apresentou um resíduo azulado em sua água de lavagem após a evaporação, mostrou-se com o segundo valor mais elevado, 4,31%.

A Figura 41 compara a quantidade de sílica e a soma dos compostos  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

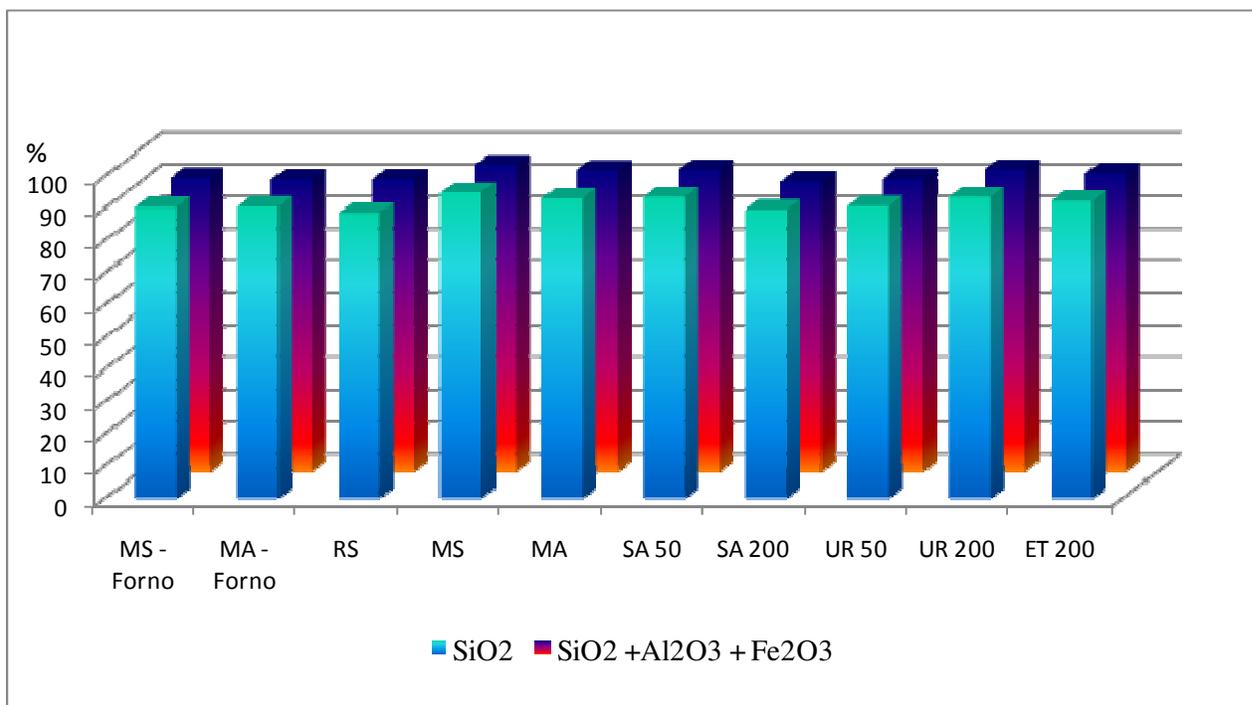


Figura 41- Quantidade de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

A primeira análise a se fazer do gráfico é a diferença que existe na quantidade de sílica entre as amostras MS – Forno/MA – Forno e as MS/MA em virtude da diferença entre os processos de calcinação utilizados. Tanto a MS quanto a MA, calcinadas em mufla, apresentam quantidades mais elevadas de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que aquelas calcinadas em forno, o que demonstra a influência na caracterização química de mesma amostra queimada em condições diferentes.

Analizando as mesmas amostras, mas fixando a variável tipo de queima, percebe-se que embora sejam originais de regiões onde solo, clima, cultivar e fertilizantes empregados são diferentes, a diferença do teor de sílica foi pequena, independentemente da forma de queima.

A amostra RS apresentou a menor porcentagem de sílica dentre todas avaliadas. O fato de ter uma perda ao fogo mais elevada acabou diminuindo a quantidade de sílica percentual na CCA, o que posteriormente atrapalhou sua reatividade sobre dois aspectos: menor quantidade de sílica para promover as reações pozolânicas e maior quantidade de carbono, que exigirá maior quantidade de água e/ou de superplastificante na confecção de argamassas e concretos.

De acordo com os resultados observados nas amostras de CCAs originadas da pesquisa agrônômica, nota-se que mesmo fixando as variáveis: solo, clima, cultivar e fertilizante empregado, pode haver diferença na quantidade de sílica presente na CCA. Verifica-se diferença de 3,83% de sílica nas amostras SA 50 e SA 200, podendo atribuir-se tal falto à diferença de 150 kg/ha de sulfato de amônio.

No caso da Uréia, a diferença entre as amostras UR 50 e UR 200 foi menor, de 2,76%, demonstrando que não existe uma correlação direta entre a quantidade de fertilizante e sua influência no teor de sílica da CCA. A amostra ET 200 apresentou um valor intermediário em relação às demais amostras.

Ao comparar estas amostras originadas da pesquisa agrônômica com as MS e MA, ou seja, quando todas as variáveis são diferentes, encontra-se uma variação de até 5,3% de sílica, confirmando os resultados encontrados na literatura (THENABADU, 1977 e IRRI, 1982 apud JULIANO, 1985).

No que diz respeito às principais impurezas, a Figura 42 apresenta o resultado.

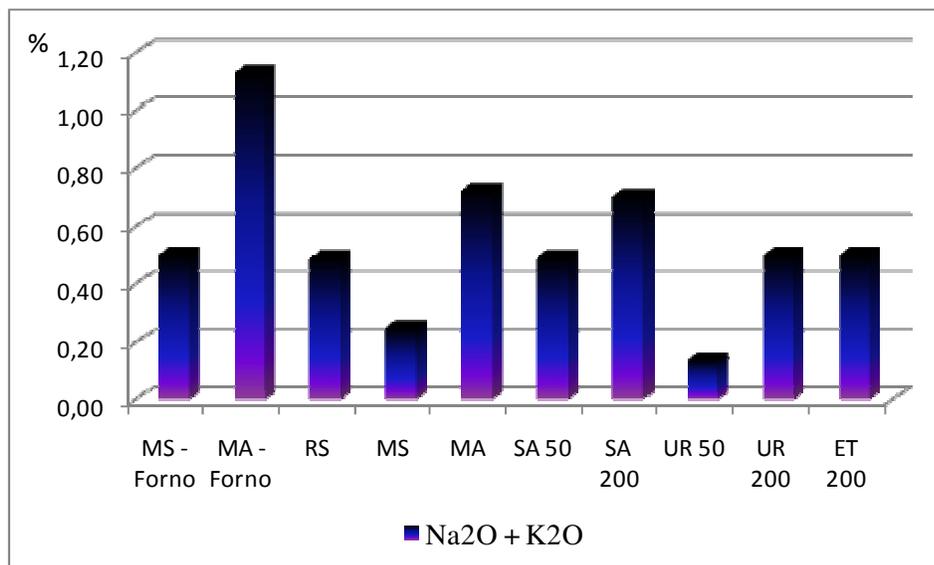


Figura 42- Quantidade de Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O.

A quantidade elevada de impurezas na amostra MA-Forno, explica a sua coloração mais escura após a calcinação, tanto em forno quanto em mufla. Isso indica que esta casca, de origem do estado da Maranhão, apresenta uma condição diferente das demais, visto que, embora a quantidade de sílica não tenha sido afetada, o elevado teor de impurezas a deixou mais escura, o que poderia torná-la inviável em virtude dos prejuízos estéticos; as demais amostras apresentaram-se com coloração clara, inclusive a MS-Forno, queimada no mesmo forno sem controle de temperatura. Embora a amostra SA 200 também tenha uma quantidade elevada de impurezas, sua coloração não foi prejudicada. A Figura 43 ilustra a comparação entre as impurezas e a perda ao fogo de cada amostra.

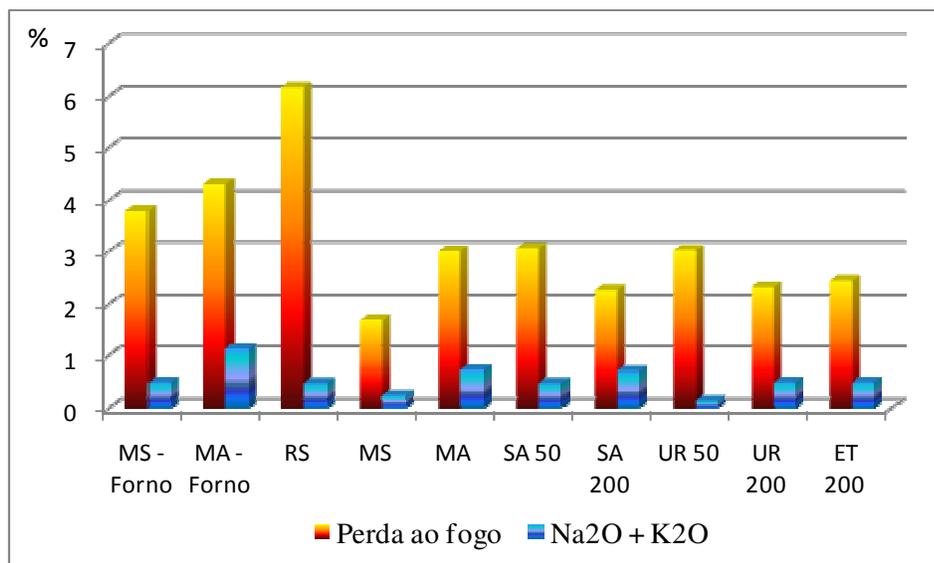


Figura 43- Perda ao Fogo e Impurezas.

Desconsiderando a amostra RS, que foi calcinada instantaneamente, a MA – Forno, como o esperado, forneceu a maior perda ao fogo.

Dentre as duas amostras que tiveram um maior teor de impurezas (MA – Forno e MA), ambas apresentaram maior perda ao fogo. O único caso que fugiu a essa regra foi a amostra UR 50, que embora com um baixo teor de impurezas, sua perda ao fogo não foi tão pequena.

De uma maneira geral, percebe-se que as amostras originadas da pesquisa agrônômica mostraram um desempenho semelhante quanto à porcentagem de impurezas e perda ao fogo, o que indica que a variação de quantidade e fonte de fertilizantes empregados na cultura não influenciou de maneira expressiva estas propriedades. Isso mostra que as outras variáveis como: tipo de solo, clima e cultivares, principalmente na amostra do estado do Maranhão, favoreceram a presença de impurezas ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) na CCA, que por consequência, fez com que fosse aumentada sua perda ao fogo.

Embora a perda ao fogo da amostra MA não tenha sido muito elevada, a Figura 44 apresenta a diferença na coloração entre as amostras MA e MA – Forno. Todas as outras amostras apresentaram-se com uma coloração clara.



Figura 44- CCA MA-Forno (a); CCA MA (b).

### 5.1.3. DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

No ensaio de difração de Raio-X, constatou-se que a maioria das amostras calcinadas em mufla apresentou um estrutura amorfa de sua sílica, o que mostra que quando calcinadas em condições adequadas, mesmo CCAs com elevado teor de impurezas, podem apresentar estrutura amorfa. Verifica-se também que a variável tipo e fonte de fertilizante não afetou o teor de amorficidade das CCAs. As Figuras 45 a 54 mostram os resultados do ensaio das amostras originadas da pesquisa agrônômica:

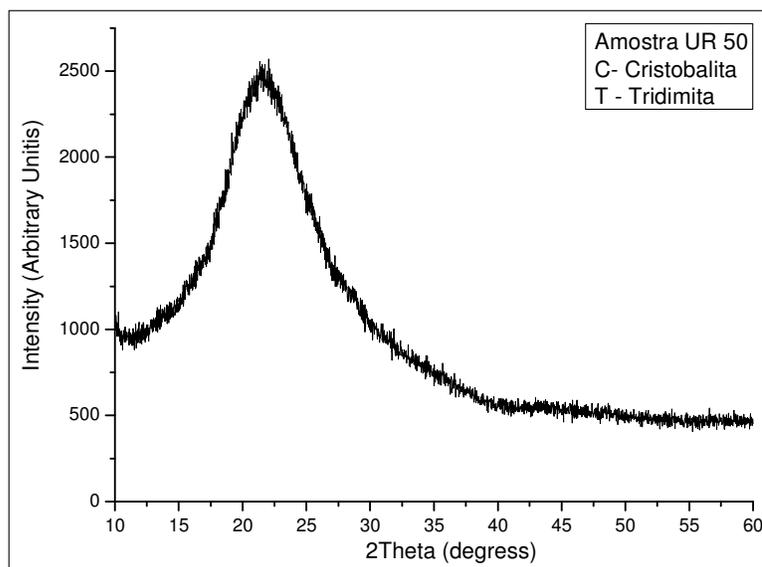


Figura 45- Difratoograma de Raio-X da amostra UR – 50.

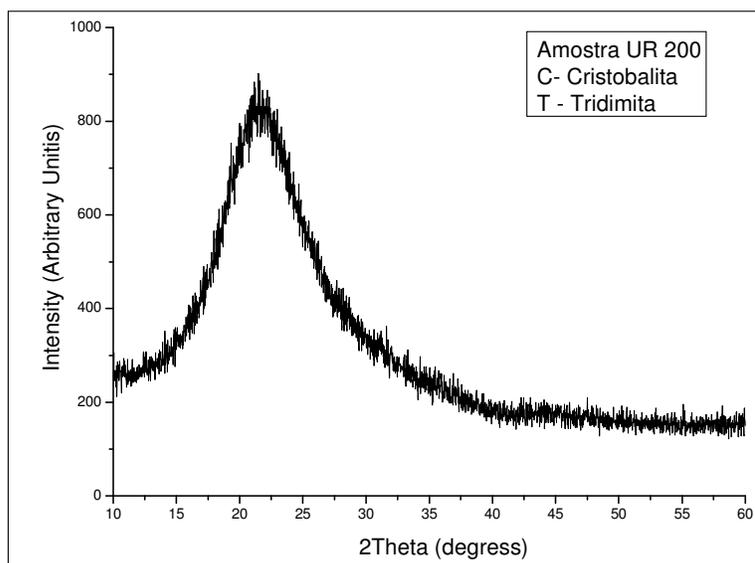


Figura 46- Difratoograma de Raio-X da amostra UR – 200.

Verifica-se nas Figuras 45 e 46, que as amostras UR 50 e 200 não apresentaram nenhum pico correspondente a material cristalino em seus resultados, e o desvio da linha base entre os ângulos de 15 e 30 graus indica a amorficidade das amostras.

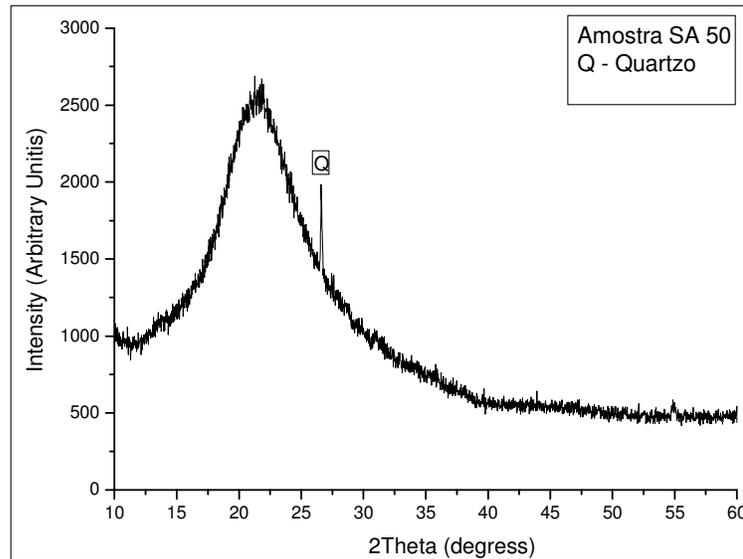


Figura 47- Difratoograma de Raio-X da amostra SA – 50.

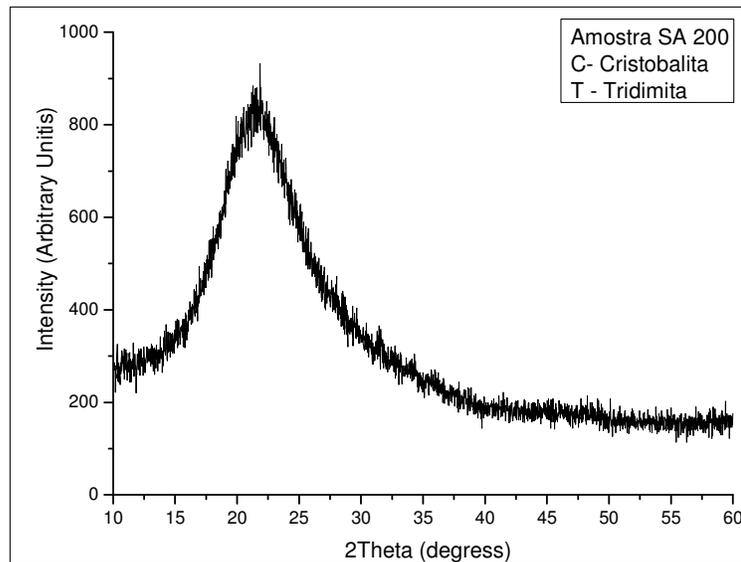


Figura 48- Difratoograma de Raio-X da amostra SA – 200.

As amostras SA 50 e SA 200 também descrevem trajetórias de material amorfo, porém na amostra SA 50 há um pico correspondente ao quartzo. Este pico foi observado apenas nesta amostra, o que pode ser sinal de alguma impureza externa que influenciou no resultado do ensaio. Pequenos picos de cristobalita (C) e tridimita (T) foram encontrados na amostra ET – 200, contudo, constata-se que eles não são suficientes para concluir que esta amostra, por ser proveniente de arroz adubado com o fertilizante Entec com 200 kg/ha foi responsável pela formação destes picos. Além disso, verifica-se que o desvio da linha base entre os ângulos de 15 e 30 está de acordo com o que foi observado nas demais amostras amorfas.

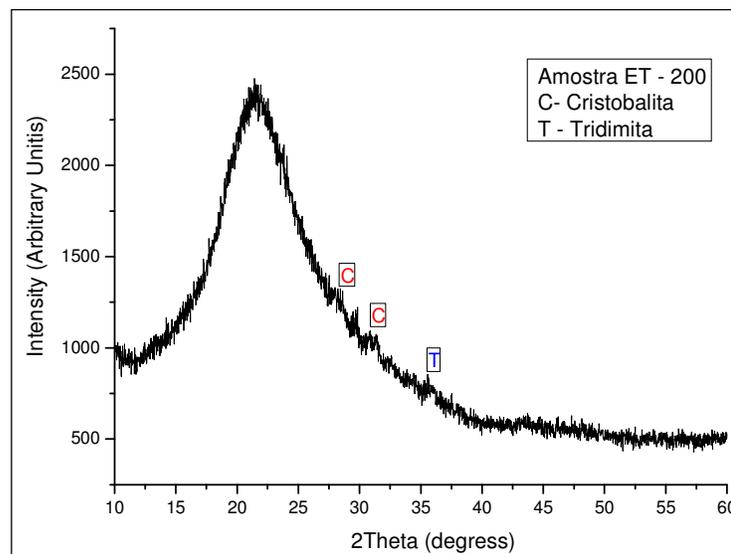


Figura 49- Difratoograma de Raio-X da amostra ET – 200.

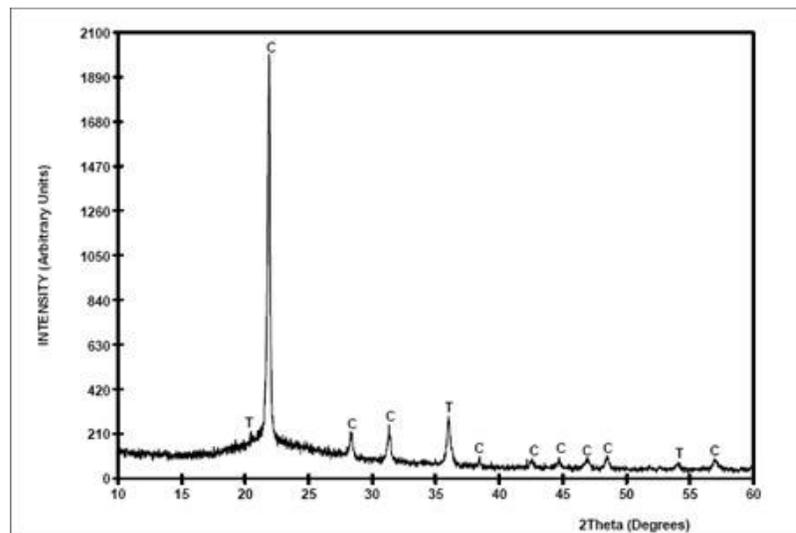


Figura 50- Difratoograma de Raio-X da amostra RS.

Fonte: Barbosa (2006, p. 62)

O resultado de difração de Raio-X da amostra RS é apresentado na Figura 50. Esta foi uma das amostras utilizadas na segunda parte do trabalho. Seu comportamento cristalino, verificado através dos picos de cristobalita e tridimita, revelam a cristalografia do material, que aconteceu em função da condição com a qual a casca foi calcinada.

As Figuras 51 e 52 apresentam as amostras MS e MA, queimadas em mufla. Verifica-se que ambas são amorfas. No entanto, nota-se um pico de cristobalita mais acentuado em torno dos 23° da amostra MA.

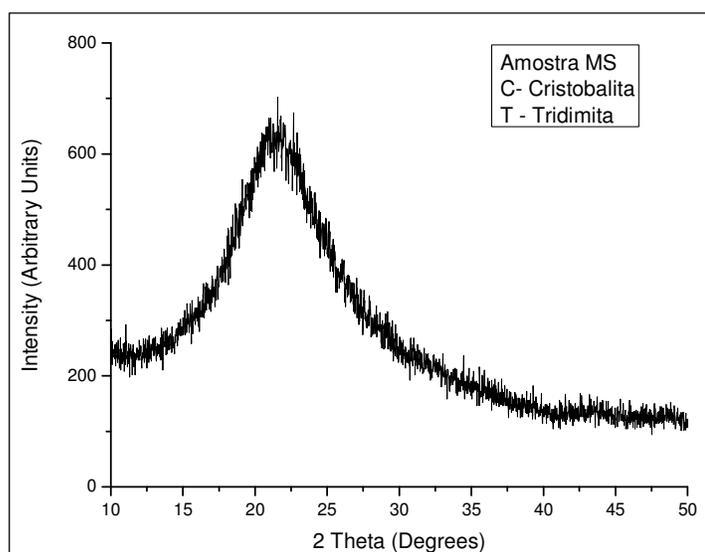


Figura 51- Difratoograma de Raio-X da amostra MS.

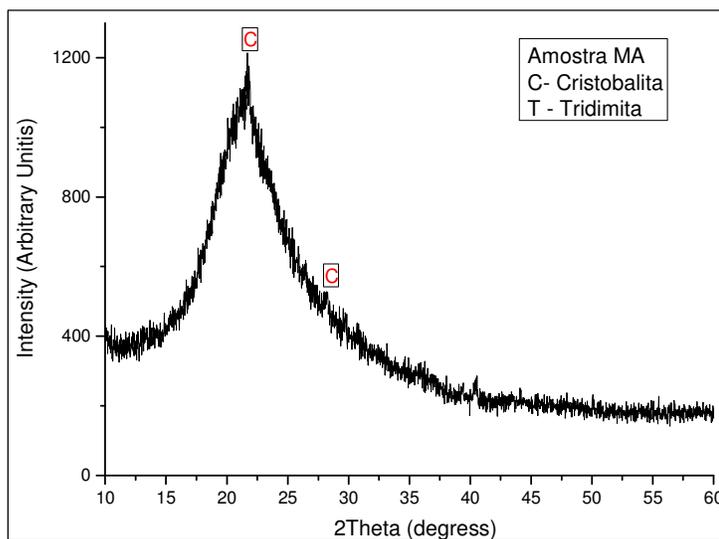


Figura 52- Difratoograma de Raio-X da amostra MA.

Analisando-se o comportamento destas amostras de CCAs, percebe-se pouca influência das variáveis: tipo de solo, clima, cultivar e tipo/quantidade de fertilizantes empregados. Isso pode ser atribuído à forma de queima, que foi ideal para a eliminação de parte das impurezas e à temperatura baixa de queima que impediu a cristalização da CCA.

Em relação às amostras MS – Forno e MA - Forno, observou-se comportamentos diferentes (Figuras 53 e 54).

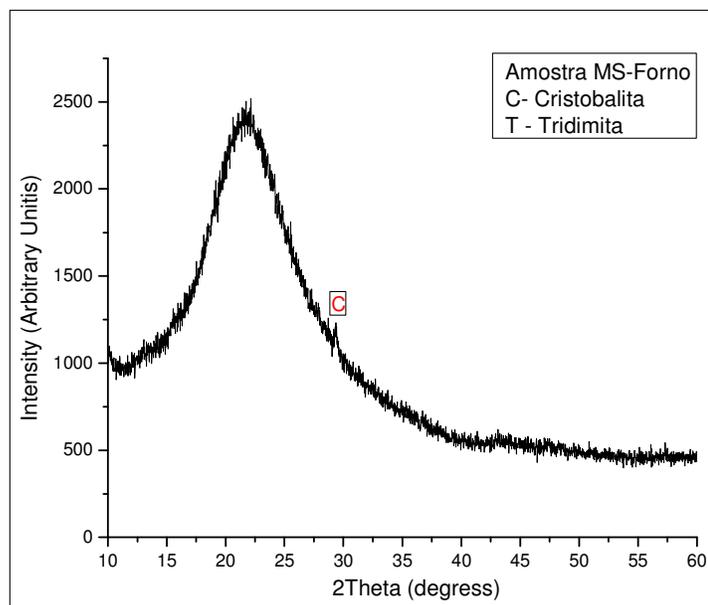


Figura 53- Difratoograma de Raio-X da amostra MS – Forno.

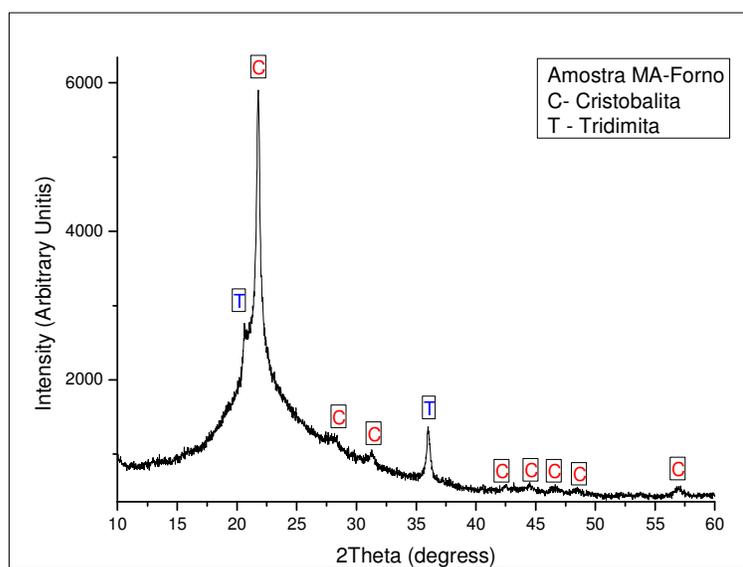


Figura 54- Difratoograma de Raio-X da amostra MA – Forno.

Enquanto a amostra MS – Forno apresentou-se amorfa, apenas com um pequeno pico de cristobalita, a MA – Forno mostrou muitos picos de tridimita e cristobalita. Como a temperatura do forno atingiu 850° e permaneceu neste patamar acima de 16 h, possivelmente as impurezas presentes na amostra MA – Forno aceleraram o processo de cristalização da sílica desta amostra (KRISHNARAO et al, 2001), enquanto que isso não ocorreu para a amostra MS – Forno, que não demonstrou teores elevados de impurezas em sua caracterização química.

A Figura 52 já apresentava indícios (pico de cristobalita em torno de 23°) de que a sílica contida na amostra MA poderia cristalizar-se mais facilmente que aquelas contidas nas outras amostras, caso a temperatura de calcinação aumentasse.

## 5.2. COMPÓSITOS COM CCA

### 5.2.1. PASTAS

A análise da influência das CCAs em pastas concentrou-se em torno do ensaio de tempos de início e fim de pega. Os resultados dos tempos de início e fim de pega estão dispostos na Figura 55 e na Tabela 22.

Tabela 22- Tempos de Início e Fim de Pega das Pastas.

<b>Traço</b>	<b>Água (g)</b>	<b>Início de pega (min)</b>	<b>Fim de pega (min)</b>
<b>ASM</b>	185	114	153
<b>AM</b>	171	98	149
<b>CM</b>	159	113	147
<b>CT</b>	149	121	152

Verifica-se que a quantidade superior de água nas pastas com CCA não aumentou os tempos de início e fim de pega em relação ao traço controle. Isso se deve ao início mais rápido das reações de endurecimento das pastas com CCA, mesmo com uma maior relação a/agl.

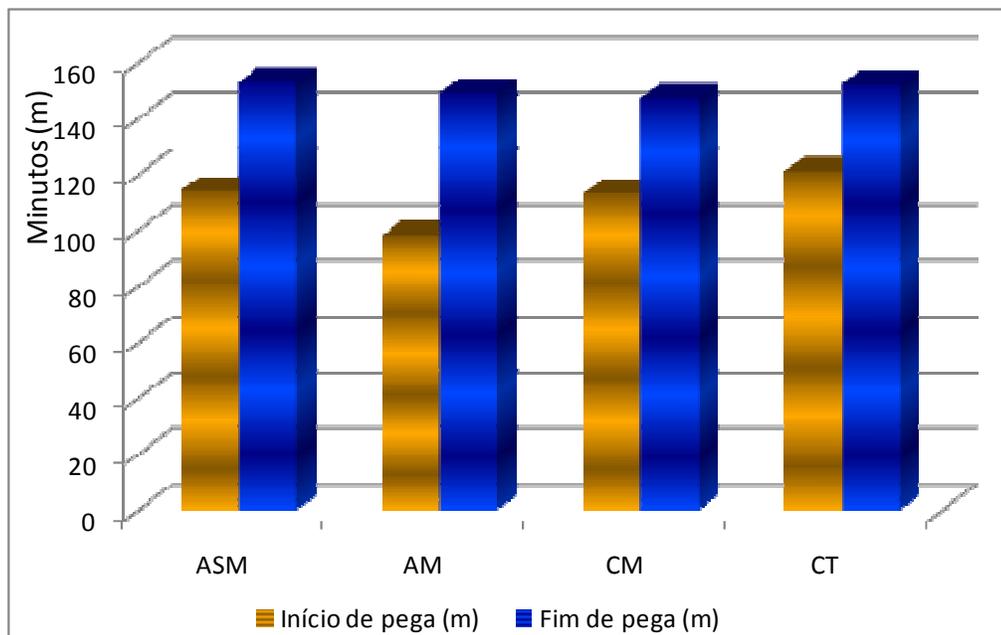


Figura 55- Tempos de início e fim de pega das pastas.

Além disso, nota-se que a CCA AM apresentou um tempo de início de pega menor que a CCA CM, dando indícios de sua maior reatividade, enquanto que a CCA ASM mostrou um desempenho ligeiramente superior à CCA CM, em virtude do seu estado físico natural (esponja) que demanda uma maior quantidade de água de consistência para a pasta.

Também foi constatado que todos os traços estão dentro da especificação da norma do ensaio, ou seja, o tempo mínimo para o início de pega deve ser de uma hora, e o tempo máximo de fim de pega, dez horas.

### 5.2.2. ARGAMASSAS

É importante ressaltar que para o traço com a CCA sem moer (ASM), foi acrescentado 1 minuto no tempo de amassamento a fim aumentar a possibilidade de diminuição do tamanho das partículas da CCA pelo atrito com o restante de materiais da argamassa. Por outro lado, os demais traços foram confeccionados de acordo com a NBR (ABNT, 7215), com tempo total de amassamento de 4 minutos; a mistura correspondente ao traço ASM foi obtida após 5 minutos.

A Figura 56 apresenta o resultado do ensaio de resistência à compressão.

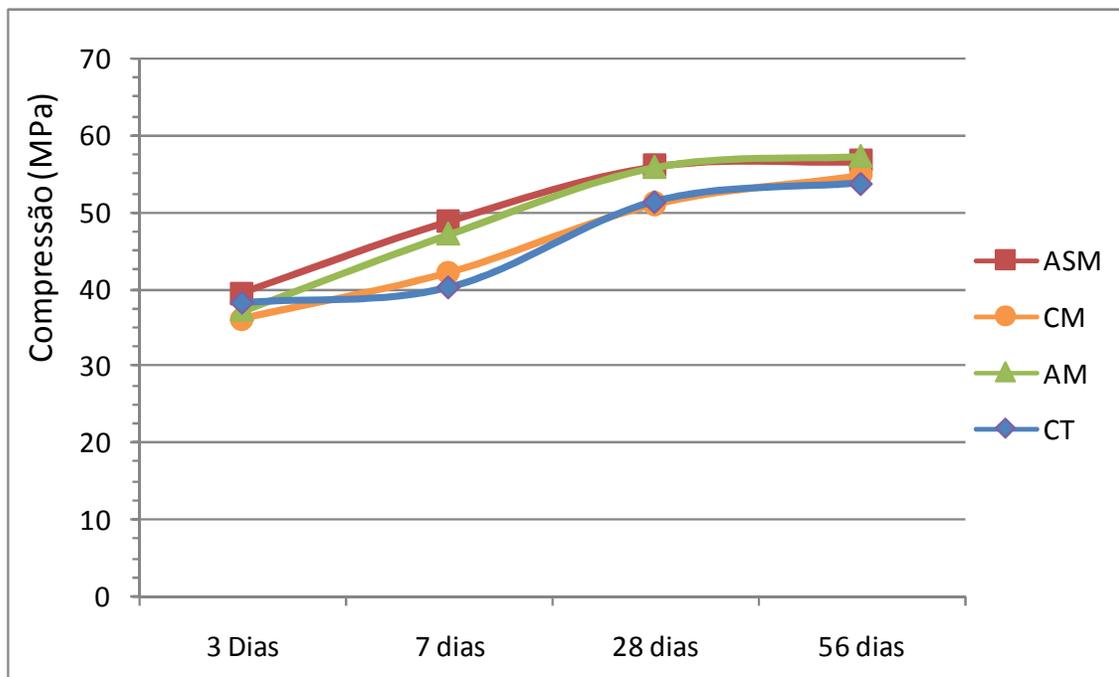


Figura 56- Resistência à Compressão de Argamassas x Idade.

De acordo com a Figura 56, verifica-se que aos três dias, embora todos os traços tenham um desempenho semelhante, a argamassa correspondente ao traço ASM se mostrou com melhor desempenho, enquanto que o traço CM demonstrou menos resistência aos três dias, resultado similar é descrito por Rêgo (2004).

Tibone (2007, p. 140) observou que a CCA sem moer também apresentou desempenho superior à mesma CCA moída já na idade de três dias com o teor de substituição de 10%, assim como o utilizado neste trabalho.

Aos 7 dias, verificou-se que as CCAs amorfas (moída e sem moer), se sobressaíram em relação à cristalina e ao controle. Isso se deve ao fato da maior reatividade das CCAs amorfas em promover as reações de pozolanicidade. Isso já não acontece desde os três dias de idade, porque de acordo com Tashima et al (2007, p 7), devido ao efeito partícula provocado pela adição de uma pozolana muito fina, ocorre uma contribuição para o processo de hidratação do cimento em curtas idades, gerando assim, uma maior quantidade de hidróxido de cálcio (composto menos resistente) que impede um ganho maior de resistência nas primeiras idades dos traços com CCAs em relação ao CT.

Aos 28 e 56 dias, verificou-se que as CCAs AM e ASM continuam com desempenhos similares, que já ocorria desde os 7 dias e o mesmo ocorre entre os traços CM e CT, demonstrando o que fora observado por Rêgo (2004), que constatou desempenhos semelhante de argamassas sem adição e com a presença de CCA cristalina no ensaio de resistência à compressão.

Os valores de resistência à compressão (MPa) foram submetidos ao tratamento estatístico especificado pela NBR 7215 (ABNT, 1996), que permite um desvio relativo máximo entre os corpos-de-prova de 6% (Tabela 23).

Tabela 23 – Tratamento estatístico para valores de resistência à compressão das argamassas.

Traço	Idade (dias)							
	3		7		28		56	
	Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo
ASM	39,37	(39,9-41,5)	48,72	(47,1-49,9)	55,9	(54,9-57,8)	56,55	(54,1-59,4)
CM	36,05	(35,9-37,3)	42,05	(41,3-42,9)	51,03	(49,9-52,2)	54,75	(52,9-57,5)
AM	37,11	(36,1-38,1)	47,07	(46,1-47,7)	55,80	(52,7-58,2)	57,25	(55,7-58,8)
CT	38,09	(37,5-40,1)	40,10	(39,3-40,5)	51,32	(50,7-51,9)	53,7	(51,4-54,9)

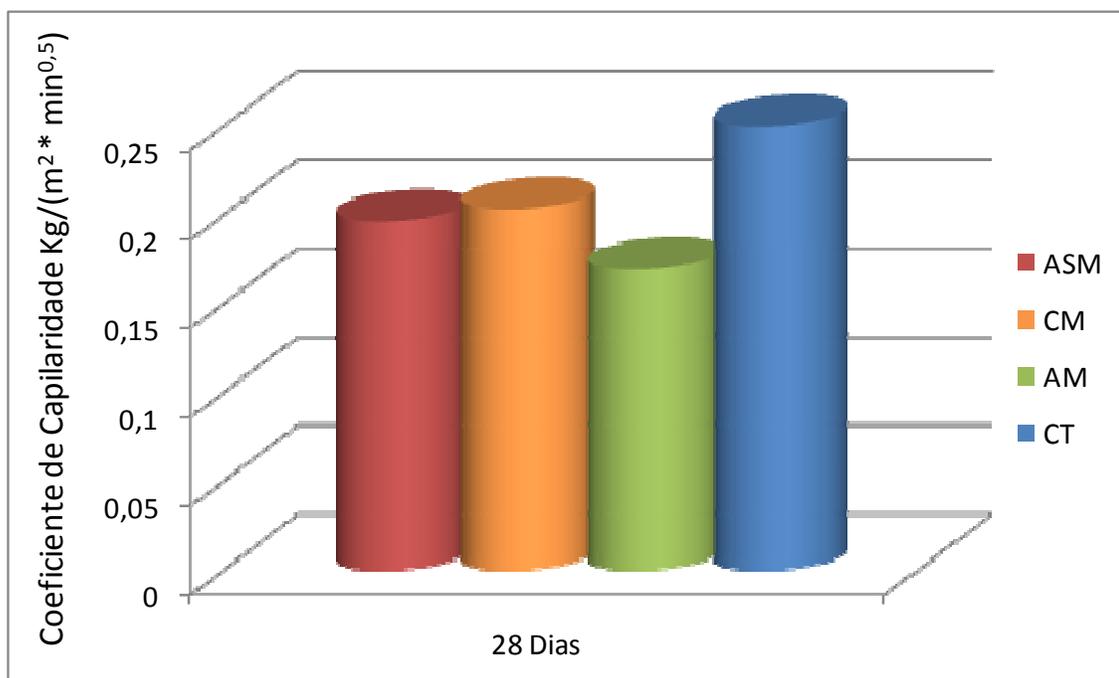


Figura 57- Coeficiente de Capilaridade.

No ensaio de absorção por capilaridade (Figura 57), que seguiu as recomendações da UNE – EN 1015-18 (2003), a absorção da água pelo corpo-de-prova ocorre pela face interna

da seção rompida do corpo-de-prova, que traduz com mais realidade o comportamento interno da micro-estrutura da argamassa.

Observa-se que o menor coeficiente de absorção encontrado foi do traço AM, enquanto que o traço CT, mostrou o maior valor. O resultado está coerente com o ensaio de resistência à compressão de argamassas. Além disso, o comportamento semelhante dos traços ASM e CM também continuaram, com uma ligeira vantagem para o traço ASM tanto na resistência à compressão quanto ao Coeficiente de Capilaridade para a idade de 28 dias.

### 5.2.3. CONCRETOS

A Figura 58 apresenta o resultado do ensaio de resistência à compressão dos concretos. Verifica-se o bom desempenho de todos os concretos com CCA em relação ao traço controle, a partir da idade de 7 dias, sendo crescente a diferença até os 91 dias.

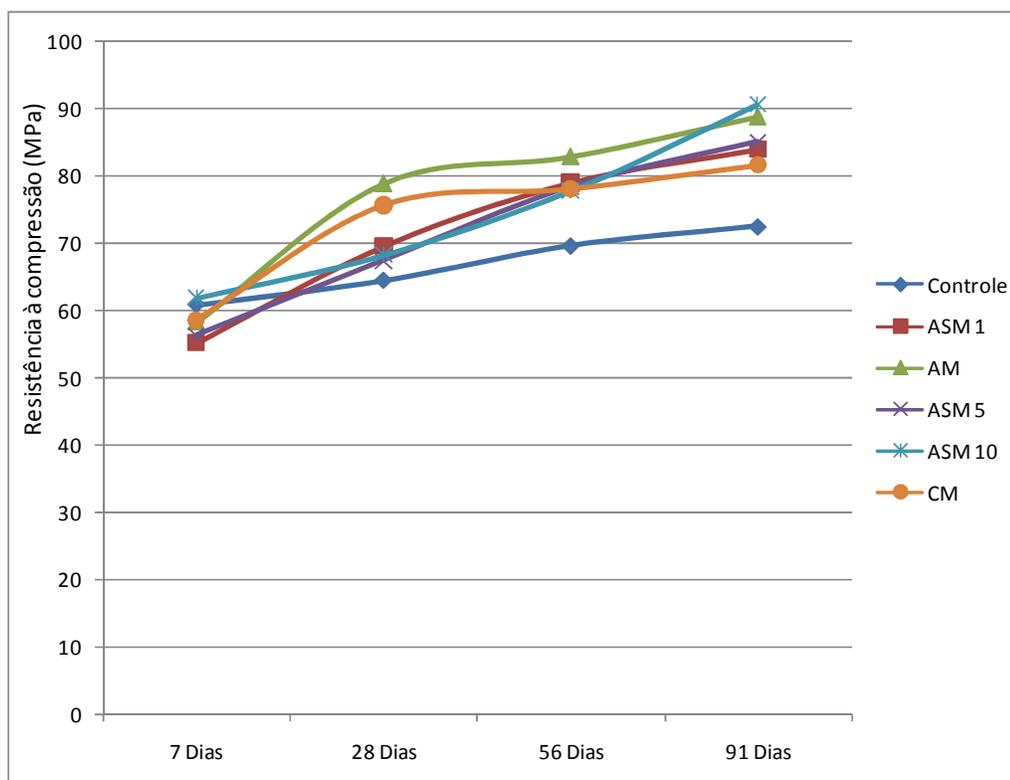


Figura 58- Resistência à Compressão dos Concretos x Idade.

Os valores de resistência à compressão (MPa) dos concretos, assim como os das argamassas, também foram submetidos ao tratamento estatístico especificado pela NBR 7215 (ABNT, 1996), tabela 24.

Tabela 24 – Tratamento estatístico para valores de resistência à compressão dos concretos.

Traço	Idade (dias)							
	7		28		56		91	
	Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo
<b>CT</b>	60,8	(58,6-62,1)	64,4	(62,0-67,1)	69,6	(65,3-74,2)	72,5	(68,9-76,1)
<b>ASM 1</b>	55,2	(53,4-57,5)	69,5	(67,3-73,7)	78,9	(78,7-79,2)	83,8	(80,0-86,1)
<b>AM</b>	58,2	(56,2-62,1)	78,8	(76,4-81,2)	82,8	(78,8-86,2)	88,7	(86,1-92,1)
<b>ASM 5</b>	56,3	(55,1-57,9)	67,4	(64,1-70,6)	78,3	(75,4-79,9)	85,0	(82,2-87,8)
<b>ASM 10</b>	61,8	(61,3-62,4)	68,2	(65,3-70,1)	77,7	(75,9-79,4)	90,5	(88,4-91,7)
<b>CM</b>	58,7	(54,4-60,9)	75,6	(74,2-77,5)	78,0	(74,2-81,8)	81,5	(79,8-83,1)

Também é observado na Figura 58, o crescimento mais acentuado dos traços com CCAs moídas (AM e CM) durante o período de 7 a 28 dias, com cerca de 20 e 17 MPa respectivamente. Essa reatividade é atribuída a maior finura dessas CCAs que foram submetidas a um processo de moagem em moinho de bolas.

Contudo, no período de 28 a 56 dias, verifica-se que as taxas de evolução de resistência à compressão dos traços AM e CM sofreram uma diminuição, enquanto que os traços ASM 1, 5 e 10 continuam o crescimento da mesma forma que no período de 7 a 28 dias. Isso pode indicar que embora as CCAs ASMs tenham passado por um processo de moagem apenas com a brita (com os tempos de 1, 5 e 10 minutos), o diâmetro médio de suas partículas sofreu uma redução significativa.

Já no período de 56 a 91 dias, nota-se que os traços com CCA sem moer alcançam o desempenho das CCAs moídas, principalmente o traço ASM 10, demonstrando um resultado superior ao traço AM aos 91 dias. Também é constatado neste período que todos os traços com ASM ultrapassam o desempenho obtido pelo traço CM, mostrando que esta CCA amorfa, produzida sem controle de temperatura e sem moagem, apresenta comportamento quanto a resistência à compressão, superior a uma CCA cristalina que passou por um processo específico de moagem.

Este efeito fica reforçado através das imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura com detecção por elétrons retroespalhados (aumento de 800 vezes) que mostram a morfologia e a estrutura das CCAs: AM, ASM 1, ASM 5 e ASM 10.

Observando as Figuras 59 a 62, verifica-se que a quantidade de partículas abaixo de 20  $\mu\text{m}$  é significativamente maior na Figura 60. Isto explica a maior reatividade da CCA AM no período de 7 a 28 dias em relação aos concretos com CCAs ASM.

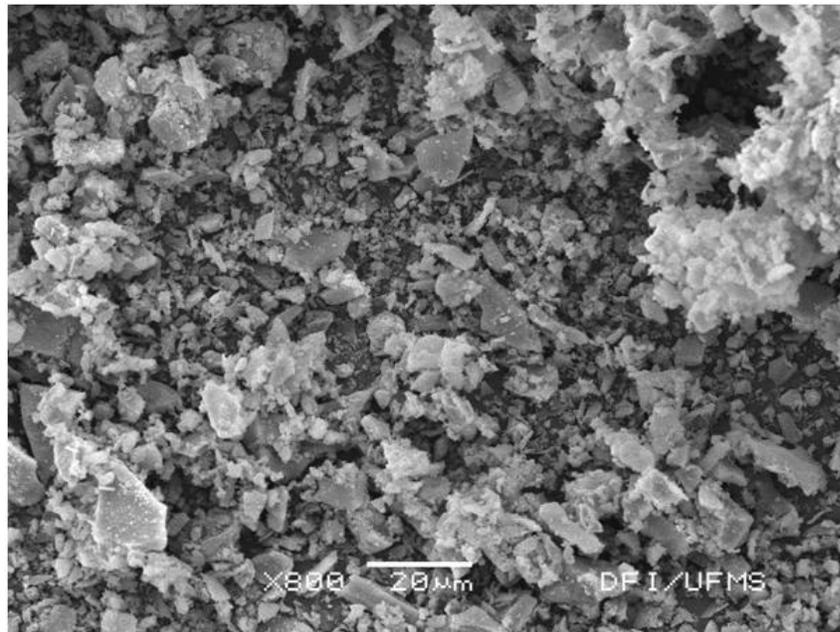


Figura 59- Micrografia da CCA AM.

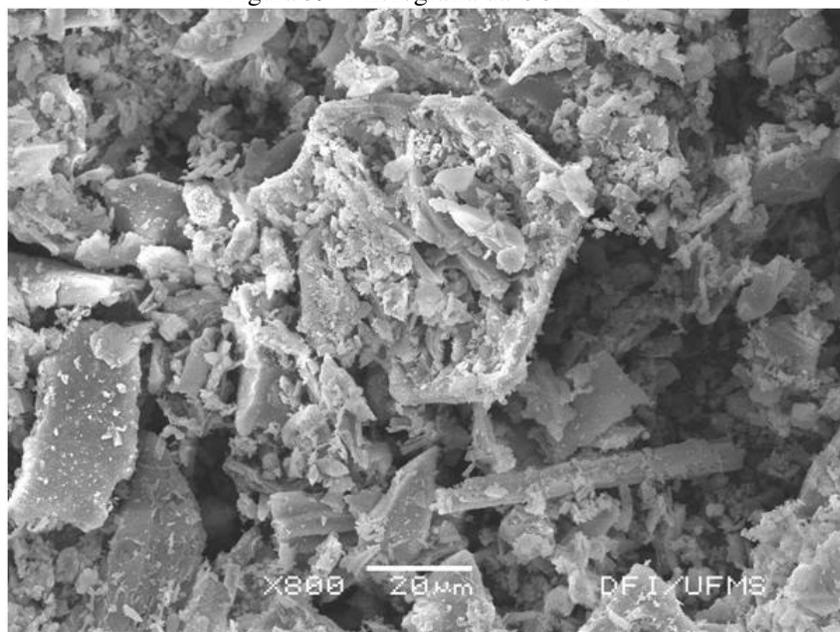


Figura 60- Micrografia da CCA ASM 1.

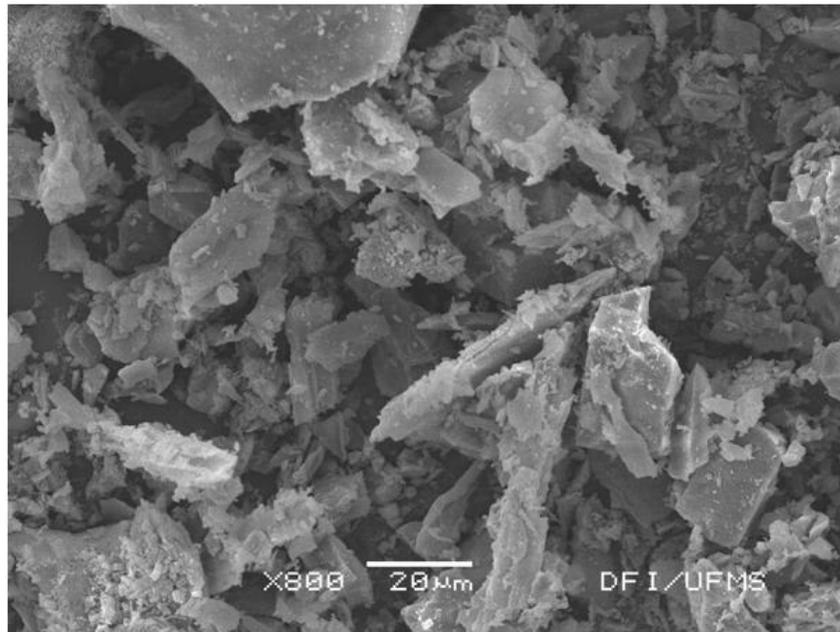


Figura 61- Micrografia da CCA ASM 5.

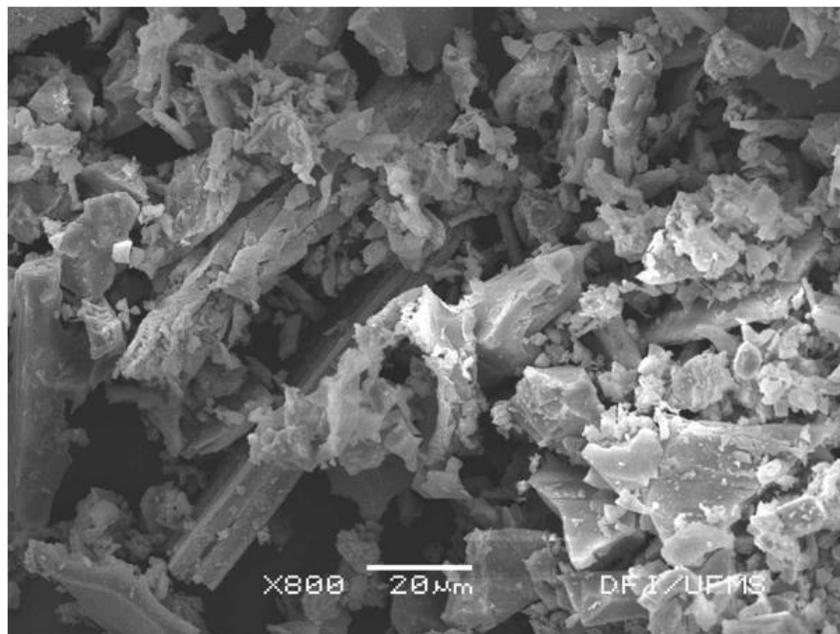


Figura 62- Micrografia da CCA ASM 10.

Com relação à literatura, Meira et al (2007, p. 11) encontraram resultados semelhantes com CCA sem moer apresentando acréscimos nas resistências axiais aos 91 dias em relação aos concretos de referência. Aparentemente, esse ganho de resistência em idades elevadas (semelhante ao comportamento de cinzas volantes), pode ser atribuído a uma grande variação

granulométrica das CCAs ASMs, com partículas muito finas atuando nas primeiras idades e as maiores, posteriormente, em idades elevadas, confirmando os benefícios provocados pelo tratamento físico empregado, como concluiu Pouey (2006).

Ainda de acordo com Meira et al (2007), a CCA sem moer utilizada em seu trabalho apresentou prejuízos pouco significativos quanto às suas propriedades elásticas. A Figura 63 mostra o resultado do ensaio de módulo de elasticidade realizado na idade de 28 dias.

É observada uma variação pequena entre os traços indicando que a presença de CCA sem moer no concreto não influenciou negativamente nesta propriedade. Verifica-se que os traços AM e ASM 10 mantêm desempenho muito parecido com o traço CT, enquanto que os demais sofreram uma ligeira queda em relação ao mesmo.

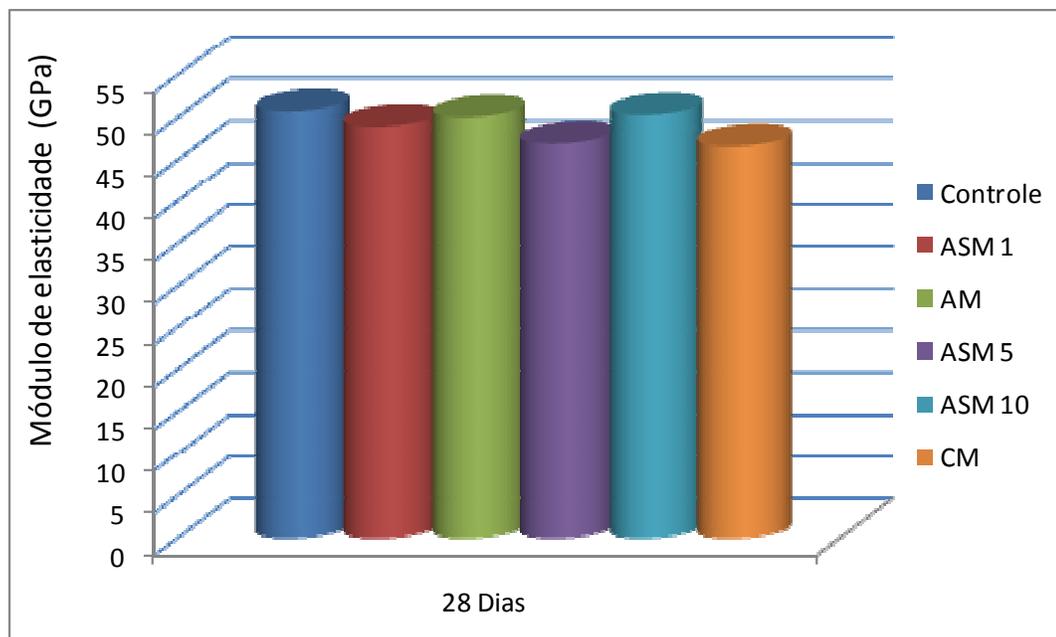


Figura 63- Módulo de Elasticidade dos Concretos.

Quanto à ordem de grandeza alcançada, os valores podem ser considerados satisfatórios, pois, de acordo com Chehade apud Pedrozo et al (2007, p. 8), os módulos de elasticidade para CAD, estão situados entre 30 GPa e 40 GPa, podendo chegar a 50 GPa.

A Tabela 25 apresenta o tratamento estatístico para os valores obtidos nos ensaios de resistência à tração e módulo de elasticidade para a idade de realização dos ensaios (28 dias).

Tabela 25- Tratamento estatístico para valores de resistência à tração e módulo de elasticidade.

Traço	Resistência à Tração (MPa)		Módulo de Elasticidade (GPa)	
	Média	Intervalo	Média	Intervalo
<b>CT</b>	5,76	(5,64-5,97)	50,7	(47,6-53,4)
<b>ASM 1</b>	6,52	(6,37-6,78)	48,9	(46,8-50,1)
<b>AM</b>	6,98	(6,81-7,53)	50,0	(49,7-50,4)
<b>ASM 5</b>	6,15	(5,98-6,31)	46,9	(45,8-48,1)
<b>ASM 10</b>	6,71	(6,54-6,83)	50,3	(48,5-51,1)
<b>CM</b>	6,94	(6,63-7,38)	46,7	(44,5-48,1)

Quanto à resistência à tração, foi observada uma relação muito coerente a resistência à compressão aos 28 dias (Figura 65). Foi observada a mesma ordem de desempenho para a resistência à tração (Figura 64), ou seja, o traço AM mostrou-se com melhor desempenho, seguido do CM, ASM 10, ASM 1, ASM 5 e por último o traço CT. Resultados com CCA sem moer semelhantes foram encontrados por Silveira (1996), Tibone (2007) e Meira et al (2007).

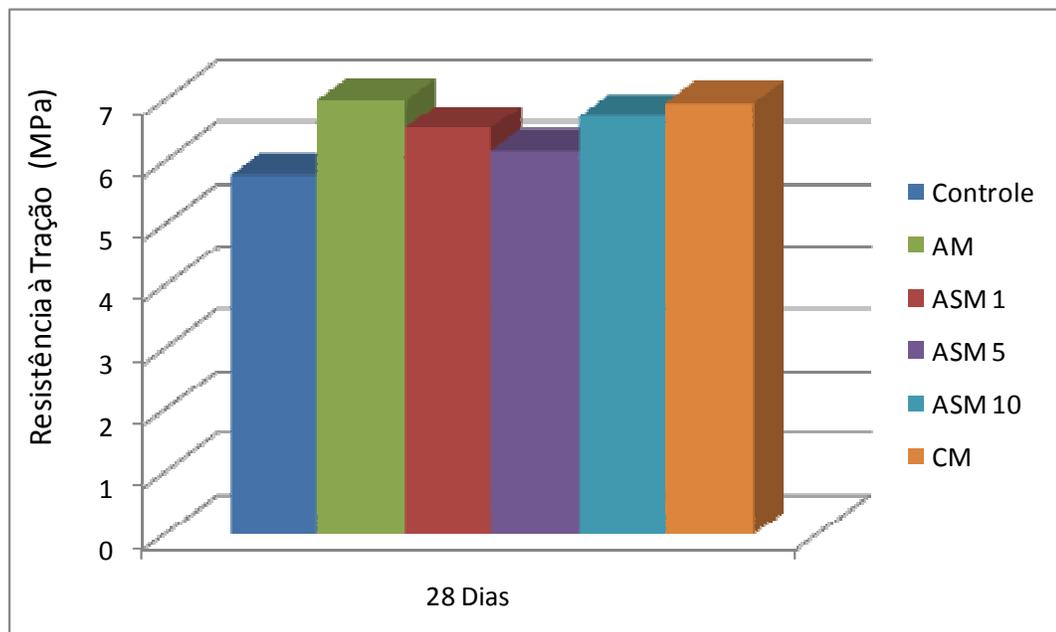


Figura 64- Resistência à Tração dos Concretos.

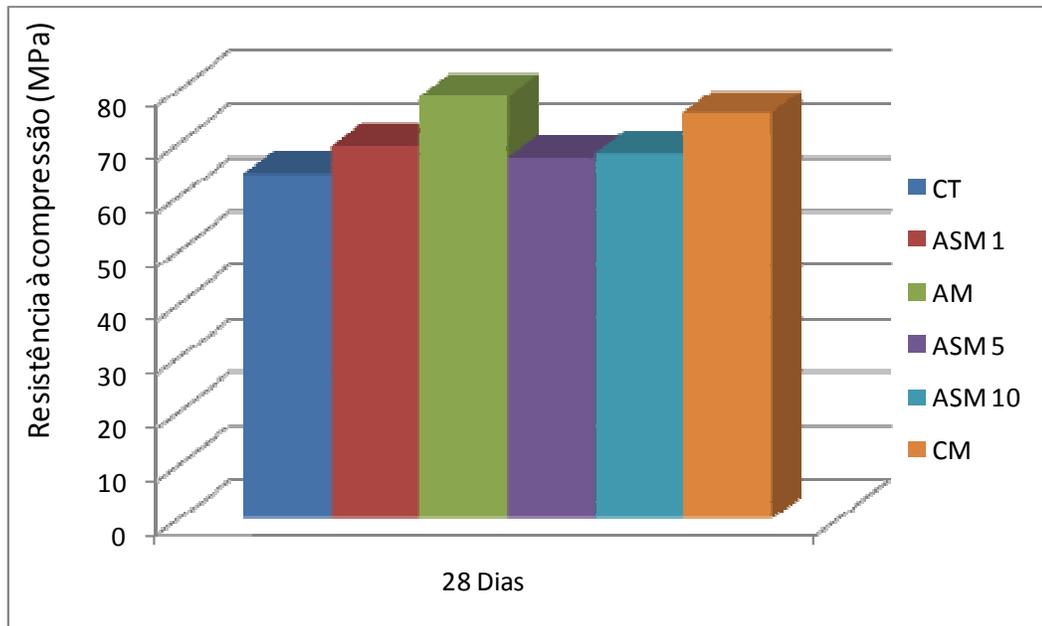


Figura 65- Resistência à Compressão aos 28 dias.

De uma maneira geral, foi observado um bom rendimento do traço ASM 10 em todos os ensaios realizados no concreto, mas é importante ressaltar que o durante o ciclo total de amassamento de 22 minutos, pode haver uma perda por evaporação importante. Principalmente em condições climáticas de temperatura elevada, como foi no caso deste trabalho experimental, a betoneira deve ser vedada durante o amassamento para evitar prejuízos devido à perda de água, conforme a Figura 66.



Figura 66- Vedação da Betoneira para o traço ASM 10.

## CONCLUSÕES



## **6. CONCLUSÕES**

### **6.1. INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NA CCA**

Através deste trabalho, foi possível concluir que todas as variáveis abordadas no plantio de arroz, exercem influência na quantidade de sílica, no teor de impurezas e, conseqüentemente, na perda ao fogo da CCA.

No que diz respeito à propriedade cristalográfica da CCA, pode-se concluir que a variável fonte/quantidade de fertilizante empregado não exerceu influência significativa. No entanto, foi constatada em uma das amostras de CCA (MA) avaliadas, uma forte tendência para cristalização da sílica em virtude do seu alto teor de impureza. A partir daí, verifica-se a importância de se fazer ensaios rotineiros de análises químicas e de Difração de Raio-X para manter o controle de qualidade das CCAs produzidas, pois em situação de produção de CCA em larga escala, podem ser utilizadas cascas de origens diferentes.

### **6.2. COMPÓSITOS COM CCA**

De acordo com os parâmetros avaliados nesta etapa do trabalho, ficou comprovada a viabilidade técnica e científica do método de produção de CCA utilizado. Este forno produz CCA que, dependendo da forma de amassamento dos compósitos, pode dispensar o emprego de moinhos para aumentar a finura e/ou reatividade da CCA.

Foi constatado que o desempenho dos traços de concreto com a CCA produzida sob as condições de queima propostas, ou seja, sem controle de temperatura e sem sofrer um processo de moagem específico, foi igual ou superior a todos os outros traços estudados (Controle, CCA cristalina moída e mesmo CCA amorfa moída).

Diante disso, acredita-se que o método de queima desenvolvido pelo grupo MAC, uma vez que tenha sua produção elevada em níveis industriais, pode contribuir para a implementação da CCA no mercado de argamassas e concretos, sendo uma alternativa eficiente, ecológica e que reduz o consumo de energia utilizada na moagem da CCA.

---

### 6.3. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A partir deste trabalho podem surgir diversas linhas de estudo nas duas vertentes abordadas.

Na primeira linha, poder-se-ia avaliar outros tipos de fertilizantes à base de outros componentes, como potássio e sílica, que seriam importantes para verificar suas influências nas características da CCA.

Já na segunda linha, que aborda o uso da CCA sem moer, seria viável estudar teores mais elevados de CCA sem moer a serem aplicados em compósitos, visto que o teor de 10% de substituição em relação ao cimento apresentou bons resultados.

Além disso, também é pertinente desenvolver mecanismos para aumentar a produção do método de calcinação de casca de arroz, assim como utilizar a energia térmica gerada no processo de autocombustão.

## 7. REFERÊNCIAS

AMICK, J. A. Purification of rice hulls as a source of solar grade silicon for solar cells. **J. Electronchem**, New Jersey, v.129, n.1, 1982. p. 864-866.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE – EN 1015 18**: métodos de ensayo de los morteros para albañería: determinación del coeficiente de absorción de água por capilaridad del mortero endurecido. Genova: Aenor, 2003. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5257**: materiais pozolânicos: índice de atividade pozolânica com o cimento. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: cimento portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1997. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218**: agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos; procedimento. Rio de Janeiro, 1994. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7810**: agregado compacto e seco: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1983. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: concreto: determinação dos módulos estáticos de elasticidade, de deformação e da curva de tensão/deformação. Rio de Janeiro, 2003. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9937**: agregados: determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**: agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833**: concreto fresco: determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1987. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: materiais pozolânicos: especificação. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 47**: determinação do teor de ar em concreto fresco: método pressométrico; procedimento. Rio de Janeiro, 2002. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 49**: agregado miúdo: determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 1996. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52**: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1996. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 65**: cimento portland: determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 1996. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 67: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone; procedimento.** Rio de Janeiro, 1998. 8p.

BARBOSA, M. M. **Utilização de resíduo de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho.** 2006. 147f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes e métodos de aplicação de nitrogênio em feijoeiro irrigado submetido a três níveis de acidez do solo. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.4, 2004. p. 785-792.

BEAGLE, E. C. Basic and applied research needs for optimizing utilization of rice husk. In: **RICE RY-PRODUCTS UTILIZACION INTERNATIONAL CONFERENCE**, 1, 1977, Valencia. **Rice husk utilizacion.** Valencia: Inst. Agroquimic Tecnol., 1977. 43p.

CARVALHO, J. L. V.; BASSINELLO P. Z. **A cultura do arroz no Brasil.** 2.ed. Aparecida de Goiânia: EMBRAPA, 2006. 902p.

CHINDAPRASIRT, P.; JATURAPITAKKUL C.; RATTANASAK U. Influence of fineness of rice husk ash and additives on the properties of lightweight aggregate. **Fuel Paper**, Tailândia, v.1, n.1, 2009. p. 158-162.

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; OLIVEIRA, R. P.; MORAES, J. F. V. **A cultura do arroz no Brasil.** 2.ed. Aparecida de Goiânia: EMBRAPA, 2006. 161p.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** 2006. 445f. Tese (Doutorado) Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIN, E. M. R. Propriedades de pastas de cimento Portland com adição de cinza da casca de arroz. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, 49, 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON 2007. 5p.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIN, E. M. R. Use of ultrafine rice husk ash with high-carbon content as pozzolan in high performance concrete. **Rilem, Materials and Structures**, Netherlands, v.1, n.1, p. 8, 2008. DOI 10.1617/s11527-008-9437-z, 2008.

COUTINHO, J. S. Cinza de casca de arroz portuguesa: ensaios em laboratório. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45, 2003, Vitória. **Anais...** Vitória: IBRACON, 2003. 5p.

DELLA, V. P. **Síntese e caracterização do pigmento cerâmico de hematita, obtida a partir de carepa de aço, encapsulada em sílica amorfa obtida a partir da casca de arroz.** 2005. 145f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DELLA, V.P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de Resíduos Agroindustriais: Cinza de Casca de Arroz como fonte Alternativa de Sílica. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, n. 2, 2005. p. 22-25.

DELLA, V. P.; HOTZA, D.; JUNKES, J. A.; OLIVEIRA, A. P. N. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.6, p. 1175-1179, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

GAVA, G. P. **Estudo comparativo de diferentes metodologias para a avaliação da atividade pozolânica.** 1999. 118f. Dissertação (Mestrado) – Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

GOVINDARAO, V. M. H. Utilization of rice husk: a preliminary analysis. **Journal of Scientific and Industrial Research**, Nova Deli, v. 39, n. 1, 1980. p. 495 – 515.

GUIMARÃES, C. M; SANTOS, A. B.; MAGALHÃES, A. M. J.; STONE, L. F. **A cultura do arroz no Brasil.** 2.ed. Aparecida de Goiânia: EMBRAPA, 2006. 54p.

GUEDERT, L. O. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza de casca de arroz como material pozolânico**. 1989. 146f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Maria. Florianópolis, 1989.

HWANG, C. L.; CHANDRA, S. The use of rice husk ash in concrete. In: Chandra, S. (Ed.). **Waste materials used in concrete manufacturing**. New Delhi: Standard Publishers Distributors, 2002. p. 184-234.

HOPPE, A. E. **Carbonatação em concreto com cinza de casca de arroz sem moagem**. 2008. 147f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

HOUSTON, D. F. **Rice hulls, rice chemistry and technology**. Minnesota: American Association of Cereal Chemistry. 1972. p. 301-352.

HUNT, L. P.; DISMUKES, J. P.; AMICK, J. A. Rice hulls as a raw material for producing Silicon. **Mnos Structures**, New Jersey, v.131, n.7, 1984. 168p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores conjunturais: produção agrícola**. Brasília: IBGE, 2009. p. 1 Disponível na internet <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_200902comentarios.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_200902comentarios.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2009.

ISAIA, G. C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura**. 1995. 232f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. G. Cinzas e aglomerantes alternativos. In: FREIRE, W. J; BERALDO, A. L. (Coordenadores) **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: Unicamp, 2003. 164p.

JULIANO, O. B. Rice hull and saw. In: JULIANO, O. B. **Rice: chemistry and technology**. 2.ed. Los Baños, Laguna: Philippines, 1985. p. 742.

KAWABATA, C. Y. **Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural**. 2008. 165f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

KRISHNARAO, R. V.; SUBRAHMANYAM, J.; KUMAR, T. J. Studies on the formation of black particles in rice husk ash. **Journal of the European Ceramic**. Great Britain, v. 21, n 1, p. 99-104, 2001.

MARTINS, I. R. F. **Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu**. 2005. 130f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MEIRA, L. R. ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; CERVO, T. C.; SENSALÉ, G. R.; ZERBINO, R.; DIESEL, F. B. Propriedades mecânicas do concreto com cinza de casca de arroz sem queima controlada e sem moagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2007. 11p.

MELLO, F. A. F. **Uréia fertilizante**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 192p.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 307p.

NAIR, D. G.; FRAAIJ, A.; KLAASSEN, A. A. K.; KENTGENS, A. P. M. A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v.38, n 1, p. 861-869, 2008.

PEDROZO, E. C.; ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; CERVO, T. C.; SENSALÉ, G. R.; ZERBINO, R.; TEIXEIRA, J. V. B. Absorção de água em concretos compostos com diferentes teores de cinza de casca de arroz ao natural e moída. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2007. 9p.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006. 232f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RÊGO, J. H. S. **As cinzas de cascas arroz (CCAs) amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento – aspectos de microestrutura das pastas.** 2004. 238f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SALAS, A.; OSPINA, M. A.; DELVASTO, S; GUTIERREZ, R. M. Study on the pozzolanic properties of silica obtained from rice husk by chemical and thermal process. **Chemistry**, Weinheim, v.10, n.11, p. 4311–4318, 2007. DOI 10.1002.

SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A cultura do arroz no Brasil.** 2.ed. Aparecida de Goiânia: EMBRAPA, 2006. 218p.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassa e concretos.** 1997. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SANTOS, S. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** 2006. 150f. Tese (Doutorado) - Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SENSALE, G. R. B. **Estudo comparativo entre as propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência e convencionais com cinza de casca de arroz.** 2000. 157f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SENSALE, G. R. B.; RIBEIRO, A. B.; GONÇALVES, A. Effects of RHA on autogenous shrinkage of Portland cement pastes. **Cement and Concrete Composites**, Elmsford, v. 30, n.1, 2008. p. 892-897.

SILVA, C. A R. **Aplicação do conceito de maturidade em concretos com adição da cinza de casca de arroz**. 2004. 115f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

SILVA, I. O. **Influência da cinza de casca de arroz amorfa e cristalina e da sílica ativa na reação álcali-agregado**. 2007. 125f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

SILVA, M. V. **A Cultura do arroz**. 4.ed. Lisboa: Livraria Clássica, 1975. 171p.

SILVEIRA, A. A. **A utilização da cinza de casca de arroz com vistas à durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos**. 1996. 145f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

SILVINO, J. C.; SANTOS, S.; BEBER, A. J. Avaliação do desempenho de misturas contendo cinza de casca de arroz frente ao uso de aditivos redutores de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. In: **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2007. 15p.

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C.; SANTANA, N. M. P. **A cultura do arroz no Brasil**. 2.ed. Aparecida de Goiânia: EMBRAPA, 2006. 117p.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; RABELO, R. R.; BIAVA, M. **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. Aparecida de Goiânia: Embrapa, 2001. 49p.

TANGCHIRAPAT, W. BURANASING, R.; CHINDAPRASIRT, P. Influence of rice husk – bark ash on mechanical properties of concrete containing high amount of recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, Guildford, v.22, n.1, p. 1812-1819, 2008.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento portland.** 2006. 81f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. **Doses, fontes e épocas de aplicação do nitrogênio em cultivares de trigo sob plantio direto no cerrado.** 2006. 80f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

TIBONE, R. **A utilização de cinza de casca de arroz de termoeétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** 2007. 139f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

TIBONE, R.; LIBORIO, J. B. L. A influência dos superplastificantes em concretos com cinza de casca de arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2008. 10p.

TORRES, A. S.; AZEVEDO, A. A.; MARTINS, M. L. C. Avaliação da eficácia do uso de diferentes tipos de cinza de casca de arroz em argamassas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2008. 11p.

VALE, F. R.; SILVA, C. A.; PORTO, D. Nitrificação em solos do sudoeste da Bahia incubados com uréia ou sulfato de amônio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23, 1991, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 180p.

VIEIRA, F. L. LIDUÁRIO, A. S.; LOPES, A. D.; BITTENCOURT, R. M.; GUIMARÃES, E. M. Comparativo do teor de amorfismo da cinza de casca de arroz através de difração de raios-X e método químico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47, 2005, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: IBRACON, 2005. 10p.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)