



# INFLUÊNCIA DA SEGREGAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ATIVIDADE POZOLÂNICA DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ

**Amanda C. Kieling(1); Carlos A. M. Moraes (2); Marlova P. Kulakowski (3); Cláudio de S. Kazmierczak (4)**

(1) Engenheira de Alimentos, Mestranda em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, Brasil – e-mail: amandakieling@hotmail.com

(2) Prof. Dr. – Pós-graduação em Engenharia Civil, Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, e-mail: cmoraes@unisinos.br

(3) Profa. Dra. – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, e-mail: marlovak@unisinos.br

(4) Prof. Dr. – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, e-mail: claudiok@unisinos.br

## RESUMO

**Proposta:** O aproveitamento integral de resíduos é uma necessidade cada vez maior na indústria moderna, devido à crise energética mundial e à busca de fontes alternativas de energia renovável. Neste sentido, as cascas residuais oriundas do processo de beneficiamento de arroz vêm sendo utilizadas como combustível, visando ao aproveitamento energético. Do processo de queima das cascas de arroz são geradas cinzas que, por serem compostas basicamente de sílica, apresentam potencial para serem utilizadas como matéria-prima na elaboração de diversos materiais, em diferentes segmentos industriais, tais como o da construção civil, cerâmica, vidros e da siderurgia. No Brasil, a maioria dos trabalhos aplica a cinza de casca de arroz (CCA) na construção civil, visto que grande parte dessas cinzas apresenta características pozolânicas decorrente de sua estrutura química amorfa e da alta concentração de sílica. No entanto, entre outros fatores, a pozolanicidade da CCA depende do processo térmico aplicado à casca de arroz na sua obtenção. **Objetivo:** Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da segregação da CCA, nas características fisico-químicas e na atividade pozolânica de CCA obtidas em diferentes processos de queima. **Método:** As amostras e as frações segregadas foram caracterizadas através de parâmetros físicos (perda ao fogo) parâmetros químicos (fluorescência de raio-X e difração de raio-X) e parâmetros microestruturais (microscopia eletrônica de varredura). A atividade pozolânica foi determinada com cimento Portland após moagem das amostras e das frações. **Resultados:** Em ensaio de perda ao fogo verificou-se que quanto maior a granulometria, maior é a quantidade de material orgânico presente na amostra. Estes resultados demonstram que a segregação configura-se numa etapa importante, pois remove impurezas e contaminantes presentes na amostra, bem como origina frações com características morfológicas diferentes. Resultados obtidos nos ensaios de pozolanicidade sugerem que a segregação da amostra CCA<sub>2</sub> contribuiu para o aumento de sua atividade pozolânica.

Palavras-chave: cinza de casca de arroz, reciclagem, atividade pozolânica.

## ABSTRACT

**Proposal:** the complete reutilization of wastes is a growing need in the modern industry, due to the world energetic crisis and the search of alternative sources of renewable energy. In this way, the rice husk originated from the rice processing has been used as combustible, for producing energy. From the rice rusk burning ashes are generated, which presents a potential to be used as raw material in the production of several by-products in different industrial sectors, such as civil construction, ceramics, glass industry and steel plants. In Brazil, most of the studies apply the rice husk ash (RHA) in civil construction, because a great part of those ashes present pozzolanic characteristics as a result of their

amorphous chemical structure and the high silica content. In fact, between other factors, the pozzolanicity of rice husk ash depends on the thermal process applied to the rice risk during burning. **Objective:** The present work has the aim of evaluating the influence of segregation of RHA, physical-chemical characteristics and pozzolanic activity of these RHA obtained from different burning processes. **Method:** The samples and segregated fractions were characterized via physical (fire loss), chemical (X Ray Fluorescence and X Ray diffraction) and microstructural parameters (scanning electronic microscopy). The pozzolanic activity was determined after samples and fractions grinding. **Results:** From the fire loss test, it was verified that higher the granulometry, higher the presence of organic material amount in the samples. Such results demonstrate that the segregation step became an important step, because removes impurities and contaminants from the samples and also originates fractions with different characteristics. The pozolanicity results suggests that the segregation of sample CCA<sub>2</sub> contributed to increase its pozolanicity activity.

Keywords: rice husk ash; recycling; pozzolanic activity.

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro é responsável por 33% do Produto Interno Bruto, 42 % das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros (MAPA, 2006). No entanto, determinados produtos agrícolas acabam gerando uma elevada quantidade de resíduos tanto no campo como nas unidades industriais. Este fato é verificado no Rio Grande do Sul, na cadeia produtiva do arroz, já que durante o processo de beneficiamento do arroz resulta como subproduto a casca, que representa cerca de 23% do peso do arroz.

Muitas empresas empregam a casca de arroz como biomassa para produção de energia já que este resíduo apresenta alto poder calorífico (aproximadamente 16720 kJ/kg), granulometria adequada para o processo de queima, disponibilidade anual, baixo custo e alta disponibilidade. No entanto, a casca de arroz é o resíduo agroindustrial que gera a maior quantidade de cinzas (20%) quando incinerada.

Após a queima da matéria orgânica contida na casca de arroz, sobra a cinza de difícil degradação e com pouquíssimos nutrientes para o solo, contendo alto teor de sílica (DELLA et al., 2001). Considerando que redução da geração deste tipo de resíduo é tecnicamente bastante limitada, a reciclagem apresenta-se como a melhor alternativa para tratar este material.

O processo de queima da casca de arroz leva sempre à obtenção de cinza, cuja coloração varia de cinzenta a preta dependendo do teor de impurezas inorgânicas e carbonos presentes (KRISHNARAO et al., 2001). Queimada parcialmente, a casca de arroz gera uma cinza com certo teor de carbono e, por isso, possui cor preta. Quando inteiramente queimada, resulta numa cinza de cor acinzentada, branca ou púrpura, dependendo das impurezas presentes e das condições de queima (PRUDÊNCIO et al., 2003). A cor branca é a indicação da completa oxidação do carbono da cinza, pelas altas temperaturas ou longos períodos de retenção, com a formação de sílica na forma cristalina (REGO, 2001).

Desta forma, Tashima (2006) salienta que a influência do tempo e da temperatura de queima está mais relacionada com a morfologia da sílica presente no material, visto que independentemente do tipo de processo de queima a quantidade de sílica varia de 74 a 97%. Cinzas originadas de queima controlada entre 400 e 600°C geram sílica amorfa abundante. Já cinzas queimadas por longo tempo em temperaturas muito altas, 800 a 1.000°C, apresentam compostos cristalinos, como cristobalita e quartzo (ISAIA, 1995).

Outro fator importante da cinza é o seu grau de moagem que depende do tipo de moinho e da temperatura de queima. Em termos de características físicas, as mais importantes estão relacionadas com a finura, já que frações granulométricas diferentes se comportam de maneira diferente (SANTOS, 1997).

Silveira et al. (1996), analisando cinzas de casca de arroz proveniente de processos de queima distintos, constataram variações nas suas características físicas, quando submetidas ao mesmo tempo de moagem. Aquela queimada a 560°C apresentou diâmetro médio menor e superfície específica

maior em relação à queimada a 800°C, evidenciando a influência da temperatura de queima na finura e superfície específica da cinza.

Prudêncio e Santos (1996) pesquisaram a influência do grau de moagem da cinza de casca de arroz na pozolanicidade em argamassas com teor de substituição de 35% em massa de cimento. A moagem da cinza foi executada a seco em moinho de bolas, com tempos de moagem estabelecidos em 15 e 30 min, 1, 2, 4, 6, 8, 10 e 20 horas. Concluíram que o índice de atividade pozolânica da cinza de casca de arroz aumentou com o tempo até o limite de 4 horas. Após 4 horas de moagem observaram um decréscimo no índice, apesar da superfície específica continuar aumentando. Os autores atribuíram este resultado ao fato de que o aumento da superfície específica dificulta a dispersão da cinza na argamassa. As partículas da cinza acabam se agrupando, formando grumos, e não reagem na sua totalidade com o hidróxido de cálcio liberado no processo de hidratação do cimento.

## **2      OBJETIVO**

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é avaliar a influência da segregação da cinza da casca de arroz (CCA), nas características físico-químicas e na atividade pozolânica de cinzas de casca de arroz obtidas em diferentes processos de queima.

## **3      METODOLOGIA**

### **3.1    Amostras**

Segundo Santos (1997), existem vários processos geradores de cinza de casca de arroz. Neste trabalho foram utilizados dois tipos de CCA para uma melhor comparação dos resultados. A CCA<sub>1</sub> foi produzida em laboratório via leito fluidizado, sob condições controladas. A temperatura de queima foi de 700°C e o tempo de residência foi de 24 horas. Já a CCA<sub>2</sub> é resultante do processo de combustão em caldeira da empresa AMBEV de Viamão (RS). Neste sistema contínuo a cinza atravessa a fornalha que está a 900°C durante 9 minutos.

### **3.2    Segregação**

A segregação dos resíduos é uma técnica amplamente aplicada com resíduos industriais, pois tem como finalidade evitar a mistura de materiais, oportunizando um melhor aproveitamento dos mesmos. Desta forma, a segregação foi realizada com o objetivo de retirar partículas que pudessem estar contaminando o restante da amostra, bem como evidenciar diferenças nas características das frações segregadas em relação à amostra como um todo. A segregação foi realizada por agitador de peneiras durante 5 minutos utilizando apenas duas malhas de peneira (1,2 mm e 0,6 mm).

### **3.3    Moagem**

A moagem das CCA bem como das frações resultantes da segregação foi executada a seco, em moinho excêntrico modelo CB2-T, composto por 2 jarras de porcelana e esferas de alumina, durante 2 horas. No trabalho de Santos (1997), o tempo de moagem ideal para a máxima atividade pozolânica foi de 4 horas, porém após moagem de 2 horas, as cinzas já apresentavam desempenho satisfatório.

### **3.4    Caracterização Físico-química**

As amostras de CCA e suas respectivas frações foram submetidas às análises de caracterização: perda ao fogo, análise química, difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura.

Foram realizados ensaios de perda ao fogo conforme ABIFA, CEMP (2003). O ensaio consiste em colocar 1g do material, previamente seco em estufa (105°), em forno mufla a 950°C durante 4 horas. Após o material é pesado até atingir massa constante.

As amostras foram analisadas quimicamente através de Espectrometria de Fluorescência de raios X, em espectrômetro de fluorescência de raios-x, marca Rigaku, modelo RIX 3100. A análise química realizada neste trabalho foi apenas qualitativa, sendo referência para a difração de raio-X.

Os ensaios de DRX foram realizados no difratômetro Siemens D5000 com as amostras em forma de

pó orientadas aleatoriamente. Os difratogramas foram obtidos utilizando uma fonte de CuK $\alpha$ , cujas medições foram de 2 a 140°, passo de 0,05 e tempo de 1s em cada passo.

A microestrutura das amostras foi analisada através de microscopia eletrônica de varredura. As micrografias foram obtidas por detecção de elétrons secundários (baixa energia), pois são capazes de mostrar a morfologia do material. As imagens foram obtidas pelo equipamento MEV, marca Shimadzu SSX-550. Para melhorar a condutividade elétrica do material, as amostras foram fixadas ao *stub* com fita de carbono. As mesmas foram observadas em baixo vácuo, com pressão de 60 Pa.

### 3.5 Pozolanicidade com o cimento

O ensaio de pozolanicidade com cimento foi realizado conforme a NBR 5752/92 e utilizando cimento CP-V-ARI. Foram confeccionadas duas argamassas: a primeira (denominada de controle), com traço 1:3 (cimento:areia) em massa e água suficiente para uma trabalhabilidade variando de 220 a 230 mm (*flow test*); a segunda, com 35 % do volume absoluto de cimento da argamassa de controle substituído pelas amostras nas mesmas condições de trabalhabilidade. Na Tabela 3.1 são apresentadas as dosagens de cada argamassa confeccionada.

**Tabela 3.1: Dosagem das Argamassas**

Argamassa	Areia (g)	Cimento (g)	Cinza (g)	Água(g)
<i>Controle</i>	936	312	-	160
<i>Cinza Volante</i>	936	202,8	90,1	160
<i>CCA<sub>1</sub></i>	936	202,8	65,23	155
<i>Fração 1-A</i>	936	202,8	61,2	145
<i>CCA<sub>2</sub></i>	936	202,8	62,2	160
<i>Fração 2-A</i>	936	202,8	64,3	160

Para cada argamassa, moldaram-se três corpos-de-prova cilíndricos (5x10cm) que foram curados nas primeiras 24 horas nos moldes em câmara úmida, e após este tempo realizou-se a desforma. O restante da cura se deu em recipiente hermeticamente fechado, a uma temperatura de (38±2) °C, durante 27 dias. Após este período os corpos-de-prova foram resfriados e em seguida foi realizado o capeamento dos mesmos, que foram submetidos ao ensaio de compressão axial. Para tanto, fez-se uso de prensa hidráulica Sercomp 2, modelo 50-C6223, com pressão máxima de trabalho de 700 bar. O índice de atividade pozolânica (IAP) com cimento Portland é definido como sendo a relação entre a resistência média da argamassa adicionada de cinza e a resistência média da argamassa de controle, em percentual.

Salienta-se que nesta etapa do trabalho as amostras foram previamente moídas (conforme item 3.3), exceto a cinza volante.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 Distribuição (em massa) da segregação

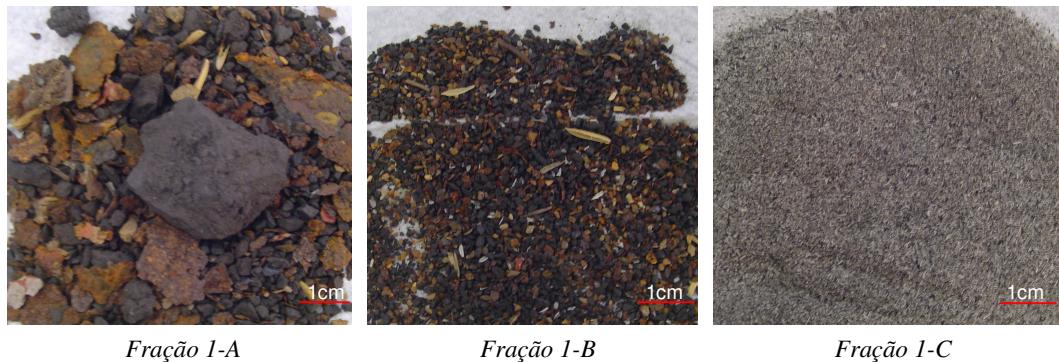
Na Tabela 4.1 são apresentados os resultados da segregação das cinzas, que correspondem à média de 3 ensaios para cada amostra.

**Tabela 4.1: Segregação das CCA**

Abertura da Peneira (mm)	% Retida CCA <sub>1</sub>	Nome da Fração	% Retida CCA <sub>2</sub>	Nome da Fração
1,2	3	1-A	3	2-A
0,6	1	1-B	21	2-B
Fundo (<0,15)	96	1-C	76	2-C

Para a amostra CCA<sub>1</sub>, observou-se que a fração contida na peneira de abertura de 1,2 mm (Fração 1-A) tratava-se de um material contaminante (carepas de ferro, pedras, provavelmente do forno no qual a

casca foi queimada). A fração acumulada na peneira de abertura 0,6mm (Fração 1-B) tratava-se de areia (fluido de queima) e casca mal queimada. A fração retida no fundo (fração 1-C) era composta por cinzas de casca de arroz com coloração homogênea. Na Figura 4.1 são apresentadas as frações resultantes da CCA<sub>1</sub>.



**Figura 4.1:** Frações resultantes da segregação da CCA<sub>1</sub>

Para a amostra CCA<sub>2</sub>, observou-se que a fração contida na peneira de abertura de 1,2 mm (Fração 2-A) apresentava-se bastante heterogênea com pontos pretos e brancos e com cascas de arroz mal queimadas. A fração acumulada da peneira de abertura 0,6mm (Fração 2-B) apresentou uma coloração homogênea e uma estrutura longitudinal semelhante à estrutura original da casca de arroz. A fração retida no fundo (Fração 2-C) também apresentou uma coloração homogênea, porém com uma estrutura mais granular. Na figura 4.2 são apresentadas as frações resultantes da CCA<sub>2</sub>.



**Figura 4.2:** Frações resultantes da segregação da CCA<sub>2</sub>

Observa-se que o processo de segregação para a amostra CCA<sub>2</sub> resultou em frações de cinzas diferentes, já para a amostra CCA<sub>1</sub> o processo eliminou contaminantes, resultando em apenas uma fração de cinza com possibilidade de reciclagem.

## 4.2 Caracterização Físico-química

Os resultados obtidos para o ensaio de Perda ao Fogo são apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2: Ensaios de Perda ao Fogo (PF)**

Amostra	PF (%)	Amostra	PF (%)
CCA <sub>1</sub>	10,41	CCA <sub>2</sub>	7,67
Fração 1-A	-	Fração 2-A	19,09
Fração 1-B	-	Fração 2-B	10,72
Fração 1-C	7,71	Fração 2-C	6,32

Para a amostra CCA<sub>1</sub>, não foram realizados ensaios de PF para as frações 1-A e 2-A, visto que estes

materiais não teriam nenhum tipo de aplicação. No entanto, observa-se que a segregação se faz necessária para eliminar os contaminantes, aumentando a pozolanicidade do material que apresentou uma perda ao fogo inferior a 10% que corresponde ao máximo permitido pela NBR 12653 (1992).

Para a amostra da CCA<sub>2</sub>, verifica-se que quanto maior a granulometria, maior é a quantidade de material orgânico presente na amostra. Este resultado demonstra que a segregação é necessária, principalmente para retirar as cascas que tiveram combustão incompleta (fração 2-A) apresentando uma perda ao fogo de 19,09%, e que poderá comprometer a qualidade do produto final.

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados obtidos na análise química qualitativa realizada nas amostras.

**Tabela 4.3: Análise Química**

Amostra	Elementos Identificados				
	Maior Quantidade		Menor Quantidade		Traço
<b>CCA1</b>	silício (Si)	potássio (K) cálcio (Ca) fósforo (P)	ferro (Fe) enxofre (S) alumínio (Al)	magnésio (Mg) cloro (Cl) manganês (Mn) zinc (Zn)	titânio (Ti)
<b>Fração 1-C</b>	silício (Si)	potássio (K) cálcio (Ca) fósforo (P)	ferro (Fe) enxofre (S) alumínio (Al)	magnésio (Mg) cloro (Cl) manganês (Mn) zinc (Zn)	titânio (Ti)
<b>CCA2</b>	silício (Si)	potássio (K) cálcio (Ca) fósforo (P)		magnésio (Mg) cloro (Cl) manganês (Mn) zinc (Zn)	ferro (Fe) enxofre (S) alumínio (Al)
<b>Fração 2-C</b>	silício (Si)	potássio (K) cálcio (Ca) fósforo (P)		magnésio (Mg) cloro (Cl) manganês (Mn) zinc (Zn)	ferro (Fe) enxofre (S) alumínio (Al)

Observa-se que o elemento predominante em todas as amostras analisadas é o silício (Si) como já era esperado. Como elementos secundários aparecem o potássio (K), cálcio (Ca) e o fósforo (P), comumente encontrados em cinza de casca de arroz. De acordo com Krishnarao et al. (2001), o potássio é o principal responsável pela fixação de carbono na cinza de casca de arroz. Segundo Nakata et al. (1989), o óxido de potássio dissocia-se a 350°C formando potássio elementar cujo ponto de fusão é de 64°C. Este potássio contido na CCA acelera tanto a fusão das partículas quanto a cristalização da sílica amorfa em cristobalita por baixar o ponto de fusão do material.

Na amostra CCA<sub>1</sub> e na Fração 1-C foi detectada a presença de ferro (Fe), enxofre (S) e alumínio (Al) numa quantidade superior às amostras CCA<sub>2</sub> e Fração 2-C, pois apenas traços destes elementos foram identificados nestas amostras. Sugere-se que a maior quantidade de ferro nas amostras CCA<sub>1</sub> e Fração 1-C seja proveniente dos elementos contaminantes presentes na amostra identificados na etapa de segregação.

Os resultados obtidos demonstram que o processo de segregação não alterou a composição química qualitativa das cinzas, uma vez que os elementos identificados nas amostras de cinza (CCA<sub>1</sub> e CCA<sub>2</sub>) são idênticos aos elementos identificados nas suas frações (Fração 1-C e Fração 2-C).

Salienta-se que a análise química realizada neste estudo, mesmo sendo qualitativa, contribuiu como base para o desenvolvimento de outras técnicas de caracterização.

Os ensaios de difração de Raio-X foram realizados (nas amostras e suas frações) para verificar a composição mineralógica principalmente da sílica presente nas amostras. Na Figura 4.3 e 4.4 são apresentados os difratogramas de raios-x para as amostras CCA<sub>1</sub> e CCA<sub>2</sub>, respectivamente.

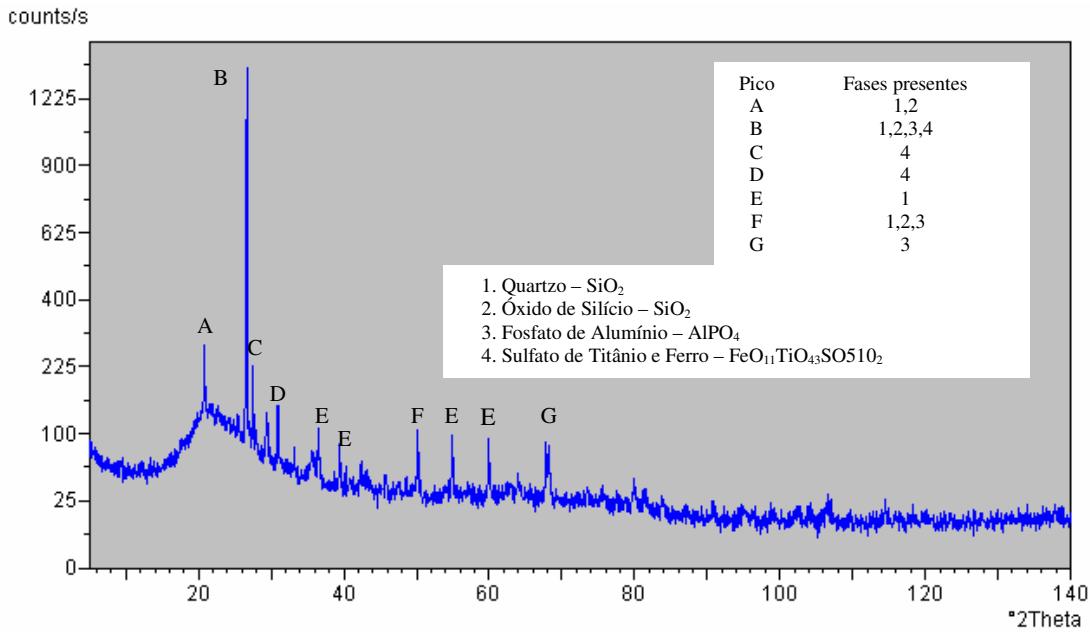


Figura 4.3: DRX da CCA<sub>1</sub>

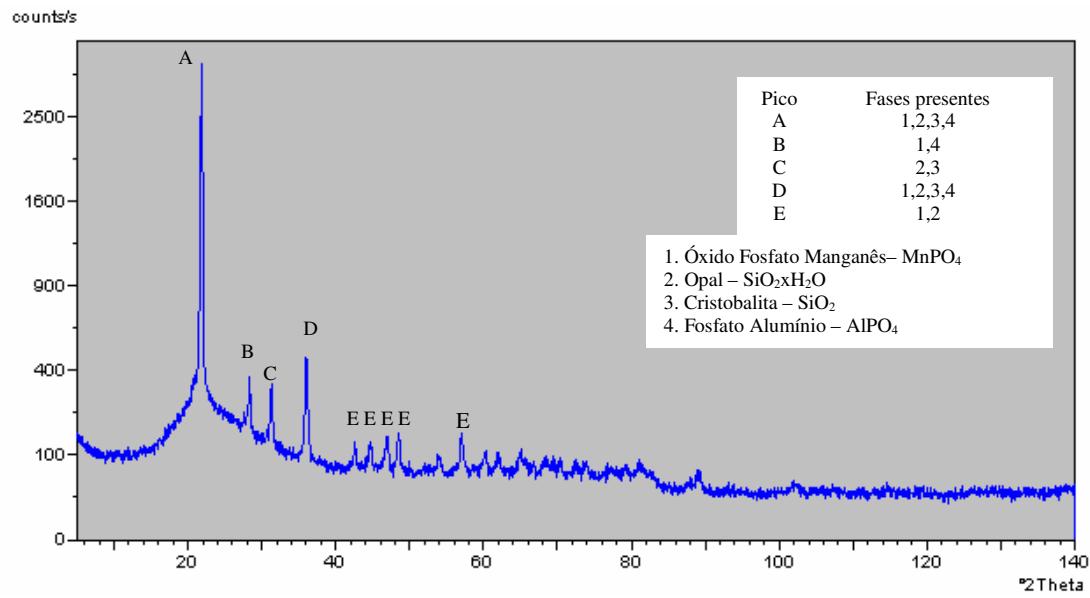


Figura 4.4: DRX da CCA<sub>2</sub>

Embora seja evidenciada a presença de picos nos difratogramas de Raios-X, observa-se que as amostras analisadas apresentam-se majoritariamente no estado amorfo, pois mostram um desvio da linha base entre os ângulos de 15 e 30 graus.

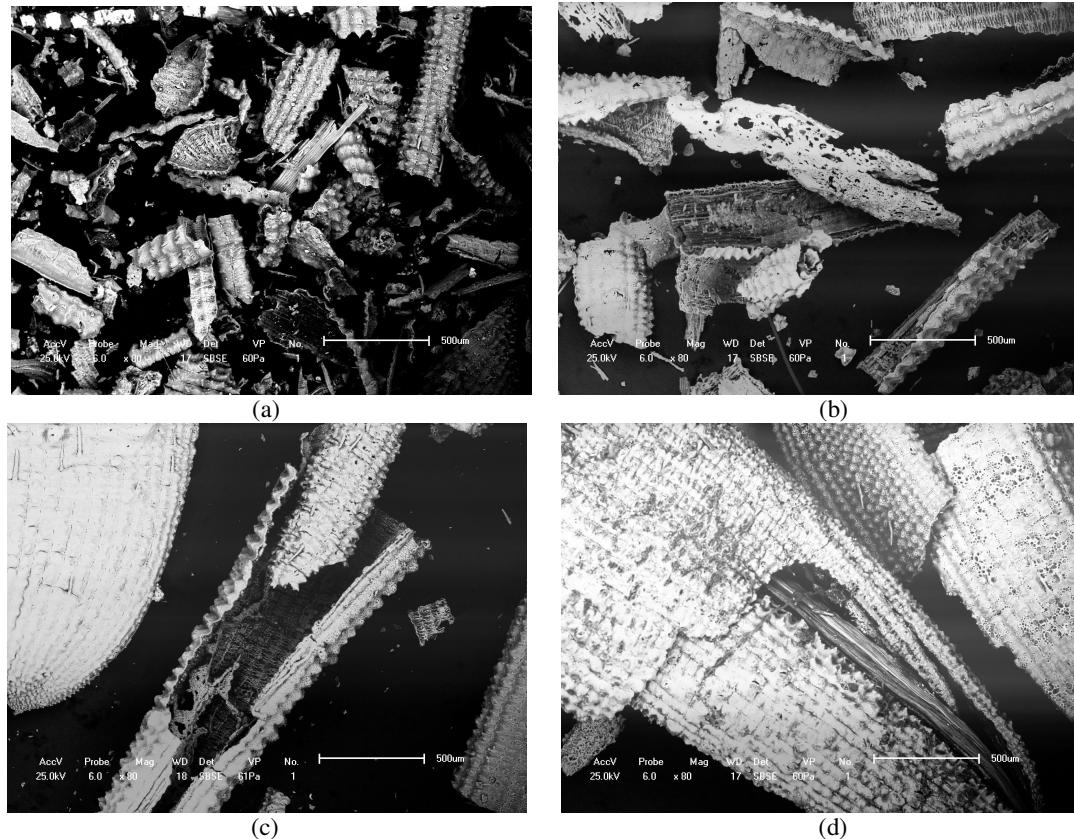
A sílica da cinza CCA<sub>1</sub> e, que está presente também na da Fração 1-C, pode estar presente na forma de quartzo. Jauberthie et al. (2000) atribuem a presença de quartzo na cinza de casca de arroz pela combinação dos seguintes fatores: contaminação por areia através dos ventos; transporte interno pela seiva da planta; e cristalização da sílica devido à alta temperatura. Por este motivo, os autores consideram importante analisar a casca de arroz antes da queima para observar a presença ou não de quartzo.

No caso específico da amostra CCA<sub>1</sub>, a presença do quartzo pode estar associada, além dos itens atribuídos anteriormente, à própria areia utilizada como fluido no reator constatada na cinza no processo de segregação em todas as frações.

A sílica da amostra CCA<sub>2</sub>, que está presente também na Fração 2-C, pode estar presente na forma de cristobalita que apresenta uma estrutura cristalina formada a altas temperaturas.

Todas as amostras apresentaram picos indicativos de sílica cristalina. Tal fato pode ser decorrente da temperatura de queima empregada, visto que a CCA<sub>1</sub> foi submetida a 700°C e a CCA<sub>2</sub> a 900°C. No entanto, em Prudêncio et al. (2003) é discutido que muitos trabalhos já apresentaram cinza com picos cristalinos com desempenho igual àquelas totalmente amorfas.

Na Figura 4.5 são apresentadas a morfologia e a estrutura das amostras antes do processo de moagem.



**Figura 4.5:** Micrografias das amostras (aumento de 80X) – (a) CCA<sub>1</sub> (b) Fração 2-C (c) Fração 2-B (d) Fração 2-A

As partículas da fração 2-A (d) apresentam uma morfologia externa semelhante à morfologia da casca de arroz antes de ser queimada. Observa-se que o rompimento da estrutura externa ocorre de dentro para fora. Na micrografia da Fração 2-B (c) verifica-se que embora a estrutura longitudinal da casca de arroz seja mantida, esta já se apresenta mais degradada do que as partículas da Fração 2-A.

Observa-se que na Fração 2-C (b) as partículas estão mais divididas, não sendo mais observada aquela estrutura longitudinal original da casca de arroz. Verifica-se que a morfologia das partículas da Fração 2-C é semelhante à morfologia da CCA<sub>1</sub> (a). No entanto a CCA<sub>1</sub> apresenta-se mais finamente dividida.

A análise morfológica das cinzas sugere que a queima da cinza CCA<sub>2</sub> não é uniforme, resultando em partículas com granulometria diferentes decorrentes da temperatura de queima e tempo de residência.

### **4.3 Atividade Pozolânica**

Na Tabela são apresentados os resultados do índice de Atividade Pozolânica das amostras analisadas.

**Tabela 4.3: Ensaios de Índice de Atividade Pozolânica (IAP)**

Amostra	Flow Test (mm)	IAP (%)
Controle	220	-
Cinza Volante	222	65
CCA <sub>1</sub>	221	96
Fração 1-C	222	95
CCA <sub>2</sub>	223	90
Fração 2-C	222	99

Verifica-se, nos resultados obtidos para os ensaios de pozolanicidade com o cimento, que o IAP das amostras de cinza de casca de arroz e suas frações foi superior a 75%, que corresponde ao valor mínimo exigido pela NBR 12653. No entanto, o IAP da cinza volante foi inferior a 75%.

A Fração 2-C apresentou o maior valor de IAP, sendo superior à CCA<sub>2</sub>, sugerindo que a segregação contribuiu para o aumento da atividade pozolânica da cinza de casca de arroz em estudo. No entanto, a CCA<sub>1</sub> apresentou IAP semelhante à Fração 1-C, evidenciando que a segregação não influenciou na atividade pozolânica deste tipo de cinza.

Santos (1997) verificou que a atividade pozolânica das cinzas de casca de arroz é influenciada pelo tempo de moagem, existindo um tempo ótimo no qual as cinzas atingem uma área específica ideal. Ultrapassando este tempo, a atividade pozolânica diminui, já que o aumento da área específica dificulta a dispersão do material. Santos (1997) também determinou que o IAP para cinzas obtidas por diferentes processos, após moagem de 2 horas, variou entre 88 e 115%.

Desta forma, as diferenças encontradas nos IAP das amostras analisadas podem estar associadas a áreas específicas diferentes das amostras moídas visto que a CCA<sub>1</sub> apresentava granulometria visivelmente inferior a CCA<sub>2</sub>. O tempo de moagem de 2 horas para as amostras CCA<sub>2</sub> e Fração 1-C pode ter sido excessivo, proporcionando um grande aumento da área específica, consequentemente, comprometendo a reatividade.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O processo de segregação apresenta-se relevante dentro da metodologia proposta para viabilizar a reciclagem de cinza de casca de arroz, uma vez que garante a uniformidade do resíduo gerado retirando do mesmo frações indesejáveis.

Nos ensaios de análise química as cinzas e suas respectivas frações apresentaram a mesma composição qualitativa. Já entre as cinzas, foram evidenciadas algumas diferenças quanto aos elementos identificados.

Nos ensaios de DRX a CCA<sub>1</sub> e a fração 1-C apresentaram sílica na forma de quartzo, enquanto que a CCA<sub>2</sub> e a fração 2-C apresentaram a fase cristobalita.

Quanto à morfologia das cinzas, a CCA<sub>1</sub> apresentou-se mais finamente dividida que a Fração 2-C que representa a fração mais fina da CCA<sub>2</sub>. Entre as frações resultantes da CCA<sub>2</sub> foram identificadas diferenças morfológicas entre as partículas.

Quanto à atividade pozolânica, as cinzas e as frações destinadas a esta aplicação específica apresentaram resultados satisfatórios, sempre maiores que os resultados obtidos para a cinza volante que já é amplamente utilizada pelas cimenteiras como material pozolânico.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO - CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) – Materiais para Fundição – Determinação da Perda ao Fogo, n° 120, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992. NBR 12653 –Materiais Pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com o cimento –Índice de atividade pozolânica. Rio de Janeiro, ABNT, 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992. NBR 12653 –Materiais Pozolânicos - Especificação. Rio de Janeiro, ABNT, 3 p.
- DELLA, V. P.; Processamento e Caracterização de Sílica Ativa Obtida a Partir de Cinza de Casca de Arroz. Dissertação UFSC, 2001.
- 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. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- JAUBERTHIE, R.; RENDELL, F.; TAMBA, S.; CISSE, I. Origin of the Pozzolanic Effect of Rice Husks. **Construction and Building Materials**, 14, 419-423, 2000.
- KRISHNARAO, R. V. et al. Studies on the formations of black particles in rice husk silica ash. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 21, n. 1, p. 99-104, jan. 2001.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Agronegócio brasileiro: uma oportunidade de Investimentos**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 30 mai. 2006.
- NAKATA, Y.; SUZUKI, M.; OKUTAMI, T. Preparation and properties of SiO<sub>2</sub> from rice hulls. **Nippon Seramikkusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi**, v. 97, p. 842-849, 1989.
- PRUDÊNCIO Jr, Luiz R.; SANTOS, Sílvia; DAFICO, Dário de Araújo. **Cinza da casca de arroz**. Coletânea Habitare - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. cap. 8. p. 240-261, 2003.
- PRUDÊNCIO, J. R., SANTOS, S. Influência do grau de moagem na pozolanicidade da cinza da casca de arroz. In: Reciclagem e Reutilização de Resíduos como materiais de construção, Workshop, USP – São Paulo, SP, Nov, 1996, p.53-62.
- REGO, J. H. S. Viabilidade Técnica da Utilização da Cinza de Casca de arroz produzida sem controle da temperatura como adição mineral ao cimento. Goiânia. CMEC/UFG, 2001, 200p. Dissertação de Mestrado.
- SANTOS, Silvia. Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- SILVEIRA, A. A.; FERREIRA, A. A. e DAL MOLIN. A cinza de casca de arroz como adição mineral. In; **WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**. Anais... 25 e 26 de novembro de 1996. Departamento de Engenharia Civil PCC USP, São Paulo, 1996. p. 39-45.
- TASHIMA, Mauro M. Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland.Tese (Doutorado), UNESP, São Paulo, 2006.