

Luiz R. Prudêncio Jr. é engenheiro civil pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1981). Mestre em Engenharia Civil (1986) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Doutor pela Universidade de São Paulo - USP (1993), realizando parte de seu trabalho experimental no Institute for Reseach in Construction - NRC, Ottawa, Canadá. Em 2001 obteve seu pós-doutorado na Inglaterra, na Loughborough University. Iniciou sua atividade didática na UFSC em 1982, sendo atualmente professor titular. Atua na área de Materiais e Componentes de Construção. Tem diversos artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais e em congressos nacionais e internacionais, no contexto de sua área de atuação. É pesquisador-bolsista nível 2B do CNPq.

E-mail: prudenciouk@hotmail.com

Sílvia Santos é engenheira civil pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1994). Mestre em Engenharia Civil pela UFSC (1997). Atuou profissionalmente na Eliane Revestimentos Cerâmicos, Concrebras Engenharia de Concreto, Concreton Serviços de Concretagem e Betonbras Concreto. É professora da Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI desde 2000. Atua nas seguintes áreas: Materiais de Construção e Ensaio Não Destrutivos.

E-mail: silvia@cttmar.univali.br

Dario de Araújo Dafico é engenheiro civil pela Universidade Federal de Goiás - UFG (1985), e especialista em Administração de Empresas pela Universidade Católica de Goiás - UCG (1993). É mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1997) e doutor em Engenharia Mecânica pela UFSC (2001). Atuou profissionalmente na Dafico Engenharia Ltda., Torre Forte Construtora e Incorporadora, e no Instituto Euvaldo Lodi de Goiás - IEL/GO. É professor da Universidade Católica de Goiás - UCG desde 1994.

E-mail: dariodafico@ucg.br

8.

Cinza da casca de arroz

Luiz Roberto Prudêncio Junior, Sílvia Santos e Dario de Araújo Dafico

1 Introdução

A crise energética mundial tem estimulado a humanidade a buscar fontes alternativas de energia renovável. Entre elas, tem aumentado bastante o uso de combustíveis de origem vegetal, muitos deles resíduos agrícolas, tais como a casca de arroz. Devido à intensa produção deste cereal em todo o mundo – estimam-se 100 milhões de toneladas por ano –, o volume de casca resultante é extremamente elevado (MALHOTRA; MEHTA, 1996). A queima da casca de arroz produz uma quantidade significativa de cinzas. A Tabela 1 mostra que nenhum outro resíduo da agricultura produz tanta quantidade de cinza quando queimado.

Cereal	Parte da planta	Cinza (% em peso)
Milho	Folha	12
Arroz	Casca	20
Arroz	Palha	14
Cana-de-açúcar	Bagaço	15
Girassol	Folhas e talo	11
Trigo	Folhas	10

Fonte: Mehta, 1992

Tabela 1 – Quantidade de cinza gerada por resíduo agrícola

Grande parte dessas cinzas apresenta características pozolânicas, ou seja, isoladamente, as cinzas não têm valor aglomerante, mas, quando finamente moídas e em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e formam compostos cimentantes.

Em muitos dos países produtores de arroz, o volume de cinza produzido é bastante grande e apenas a indústria cimenteira poderia consumir tal quantidade de resíduo.

A produção mundial de arroz em casca no ano de 2001 foi de 585,7 milhões de toneladas, sendo a maior produtora mundial a China, seguida pela Índia, Indonésia e Bangladesh (WORLD RICE PRODUCTION, 2002). O Brasil, com uma produção de 10,5 milhões de toneladas, ocupava o décimo lugar na lista dos produtores mundiais. O estado-líder na produção foi o Rio Grande do Sul, responsável por 51,61% da referida safra, e Santa Catarina ocupou o terceiro lugar, com 8,77% da produção nacional (IBGE, 2002). Como a cinza representa aproximadamente 4% em peso do arroz em casca, resultam os valores da Tabela 2 para a disponibilidade anual de cinza de casca de arroz.

Mundial	23,42 milhões de toneladas
Brasil	4,2 milhões de toneladas
Rio Grande do Sul	2,17 milhões de toneladas
Santa Catarina	338 mil toneladas

Fonte: IBGE, 2002; World Rice Production, 2002

Tabela 2 – Disponibilidade de cinza: safra 2001

Cabe ressaltar que 87,77% da produção de arroz nacional está concentrada em apenas 10 estados e que um terço desta produção é beneficiada somente em cidades de médio porte ou grandes centros urbanos.

Atualmente, são ainda as empresas beneficiadoras de arroz as principais consumidoras da casca como combustível para a secagem e parboilização do cereal. Como se trata, geralmente, de empresas de pequeno porte, não possuem processos para aproveitamento e descarte adequados das cinzas produzidas, que são geralmente depositadas em terrenos baldios ou lançadas em cursos d'água, ocasionando poluição e contaminação de mananciais. Para minimizar o problema, órgãos ambientais

têm buscado regulamentar o descarte dessas cinzas. No estado de Santa Catarina, por exemplo, a Fundação de Amparo e Tecnologia do Meio Ambiente (FATMA) exige a instalação de um sistema constituído de silo separador e decantação para reter a cinza junto às beneficiadoras, evitando, dessa forma, que esta seja lançada no meio ambiente. Como não há emprego para a cinza recolhida, esse material estocado acaba sendo lançado de forma clandestina no meio ambiente, muitas vezes ao longo de estradas vicinais (Figura 1).

Diante disso, o não-aproveitamento desse material não pode mais ser aceito pela sociedade. Assim, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de utilizar esse produto em diversos setores industriais e, de maneira especial, na indústria da Construção Civil. Em trabalho publicado em 1972, Huston faz uma listagem de 262 referências bibliográficas sobre as possibilidades de emprego da cinza de casca de arroz.

No Brasil, merecem destaque os trabalhos sobre cinza de casca de arroz desenvolvidos por Cincotto (1988), Guedert (1989), Farias e Recena (1990), Isaia (1995), Silveira (1996), Santos (1997), Gava (1999), Dafico (2001) e Weber (2001).



Figura 1 – Depósito de cinzas de casca de arroz ao longo de estradas vicinais
Fonte: Santos, 1997

2 Características gerais das cinzas de casca de arroz

A casca de arroz é uma capa lenhosa do grão, dura, com alto teor de sílica, composta de aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra (MEHTA, 1992). Quando queimada, a lignina e a celulose podem ser removidas, resultando uma estrutura celular e porosa, de acordo com a Figura 2.

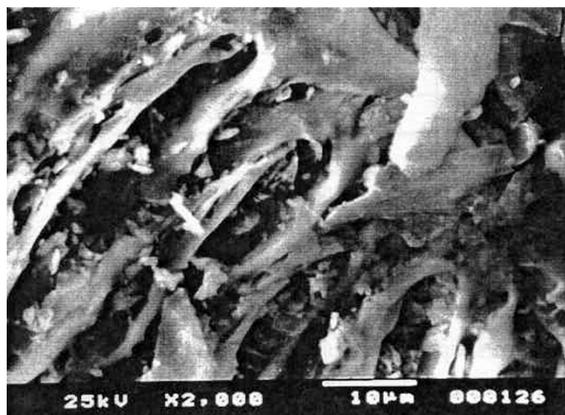


Figura 2 – Micrografia eletrônica de varredura da cinza de casca de arroz queimada a 560 °C
Fonte: Silveira e Ruaro, 1995

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. Para Boateng e Skeete (1990), temperatura elevada e longo tempo de exposição geram cinzas branco-rosadas, o que indica a presença de sílica nas suas formas cristalinas: cristobalita e tridimita.

A utilização da cinza de casca de arroz (CCA) como material pozolânico vem sendo intensamente investigada desde a década de 70, principalmente na Índia e nos EUA, mas só a partir da década de 80, com o desenvolvimento da tecnologia do concreto de alto desempenho, a preocupação em se obter um máximo de pozolanicidade do material se tornou premente. Metha (1992) foi provavelmente o pesquisador que mais publicou artigos sobre a utilização da CCA no concreto. Vários outros pesquisadores citados pelo autor também relatam experiências de queima da casca de arroz, e quase todos concluem que ela deve ser queimada em temperaturas baixas, entre 500 e 800 °C, dependendo do pesquisador, para que a cinza resultante tenha boa atividade pozolânica. Segundo esses relatos, a queima em temperaturas mais elevadas causa a cristalização das cinzas e, conseqüentemente, a diminuição da sua reatividade.

Estudos experimentais realizados na Universidade da Califórnia mostram que, quando a temperatura de queima da casca de arroz é baixa e o tempo de exposição a alta temperatura é pequeno, a sílica contida na cinza é amorfa. A cinza nessas condições apresenta alta porosidade interna e área específica de 50 a 110 m²/g quando

medida por adsorção de nitrogênio (MEHTA, 1992). Essas cinzas apresentam boa atividade pozolânica, sendo consideradas um excelente material para uso como adição em cimento Portland.

No Brasil, a grande maioria dos trabalhos sobre o uso de cinzas de casca de arroz como material pozolânico foi realizada com cinzas residuais oriundas da queima da casca em beneficiadoras do cereal. Em alguns casos, quando as beneficiadoras possuíam queimadores de leito fluidizado, a temperatura de queima era controlada para evitar a formação de sílica cristalina. Nos demais, os estudos foram realizados com cinzas obtidas de queimas sem um controle efetivo do tempo e da temperatura de queima. De um modo geral, os resultados obtidos nas pesquisas brasileiras concluíram que a cinza de casca de arroz é uma excelente pozolana, com desempenho comparável ao da sílica ativa (resíduo da fabricação do ferro-silício e/ou do silício metálico). Uma constatação importante e, até certo ponto, surpreendente dos trabalhos nacionais é que esse desempenho foi satisfatório mesmo para cinzas que exibiam picos cristalinos nos ensaios de difração de raios X, contrariando a opinião de muitos especialistas internacionais. Esse fato pode ser observado no trabalho de Santos (1997), Figura 3, onde foram comparadas as resistências de argamassas com mesma relação água/aglomerante e mesmos teores de substituição do cimento (15%) por distintas pozolanas: cinza de casca de arroz residual (F, G, P e R) obtida em leito fluidizado com controle de temperatura de queima (LF), cinza volante (CV) e sílica ativa (SA).

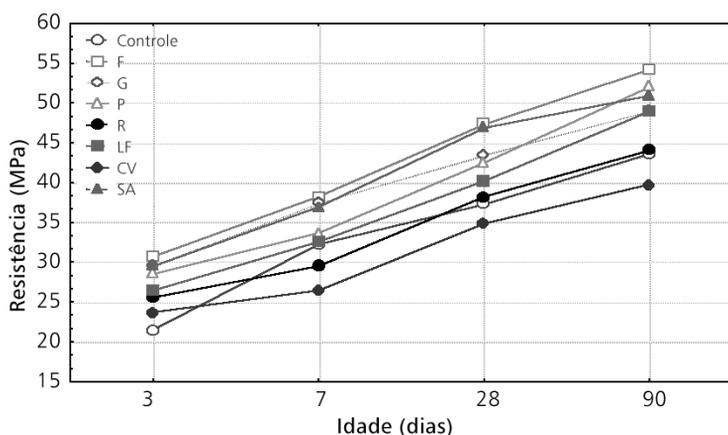


Figura 3 – Evolução de resistência de argamassas (15% de CCA) – F= Queima em leito fluidizado sem controle de temperatura; G = Queima em grelha, extração a seco; P = Queima em grelha, auxílio de ar comprimido; R = Queima em grelha, extração úmida

Fonte: Santos, 1997

Nota-se que duas das cinzas residuais obtidas por queimas não devidamente controladas apresentaram desempenhos similares aos da sílica ativa, que é reconhecidamente uma pozolana de alta qualidade. Ao se compararem os perfis de difração dessas duas cinzas (Figuras 4 e 5), observa-se que a cinza de casca de arroz de melhor desempenho aos 90 dias possuía vários picos pela presença de cristais de sílica. O bom desempenho apresentado pode ser justificado pela elevada área específica que possui a sílica presente nas cinzas de casca de arroz e pelo efeito *filler* gerado pela presença de carbono não combusto, que é um material extremamente fino. É justamente a presença desse carbono que faz com que os valores medidos de área específica para amostras de cinzas de casca de arroz não tenham uma correspondência direta com sua reatividade. Dessa forma, sua determinação é muitas vezes não realizada, como no caso da pesquisa citada.

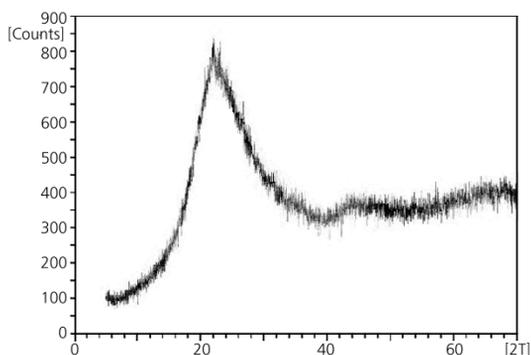


Figura 4 – Difratograma de raios X : cinza da indústria F

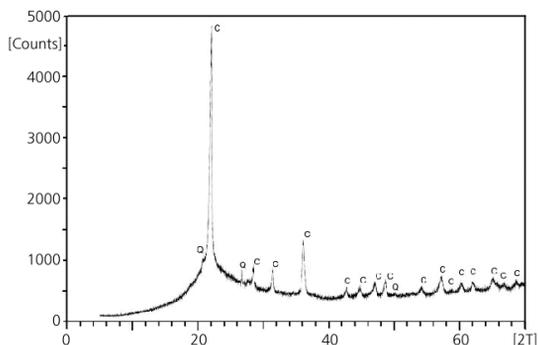


Figura 5 – Difratograma de raios X: cinza da indústria P – C = cristobalita; Q = quartzo

Os trabalhos nacionais anteriormente citados também constataram que o grau de moagem da cinza de casca de arroz influencia significativamente o seu desempenho, medido pelo índice de atividade pozolânica (Figura 6). Nota-se que, a partir de uma certa finura, o índice tende a cair, fato este que, provavelmente, é consequência da dificuldade de dispersar partículas muito finas na argamassa.

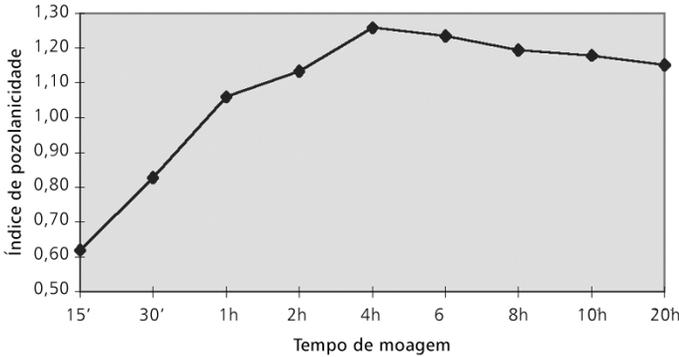


Figura 6 – Variação do IAP com o tempo de moagem

Fonte: Santos, 1997

A Figura 7 mostra a diminuição do tamanho de grão em função do tempo de moagem.

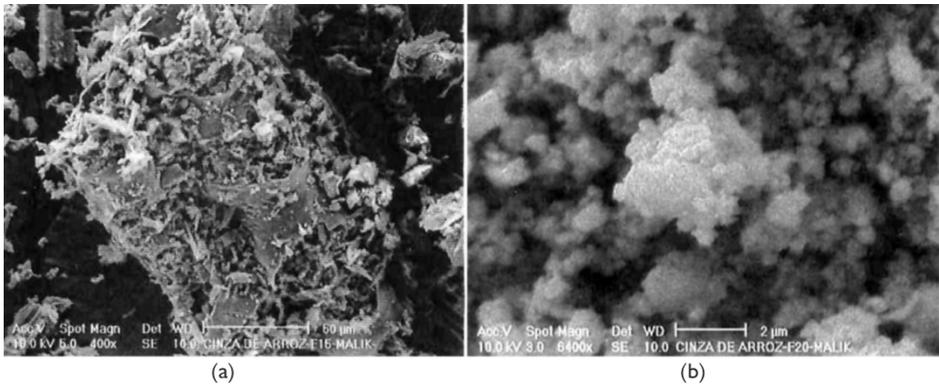


Figura 7 – Micrografia da CCA: (a) 15 minutos de moagem; (b) 20 horas de moagem

Fonte: Santos, 1997

Outra constatação importante deste estudo foi a diminuição da demanda de água das argamassas com o aumento do grau de moagem, atribuída à destruição progressiva da estrutura esponjosa da cinza (Figura 8).

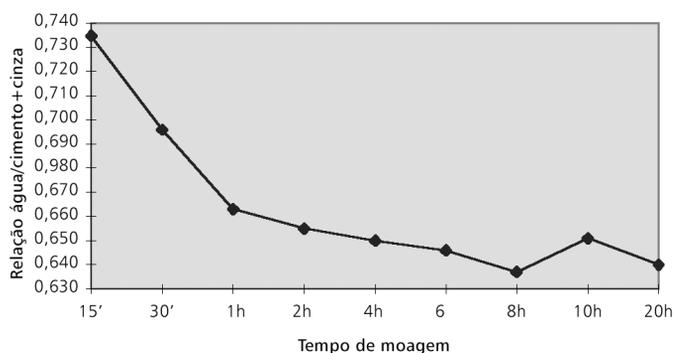


Figura 8 – Demanda de água no ensaio de pozolanicidade

Fonte: Santos, 1997

Quanto à resistência à compressão obtida nas argamassas com diferentes teores de CCA, observou-se ser de 15% o teor ótimo de substituição para um máximo de resistência aos 28 dias, e 40% o teor de substituição para uma resistência equivalente àquela apresentada pela argamassa sem cinza, que foi de 37,68 MPa (Figura 9). Neste estudo, a argamassa de referência possuía um traço de 1:3:0,52 (cimento: areia: água) em massa. As substituições do cimento foram feitas em volume e o traço ajustado para manter-se a mesma relação entre água e aglomerante em volume sem alteração da consistência (*flow* de 220 ± 10 mm).

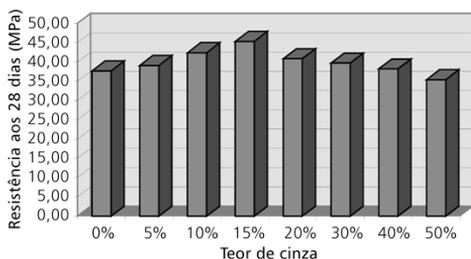


Figura 9 – Resistência das argamassas contendo diferentes teores de CCA

Fonte: Santos, 1997

3 Pesquisas recentes com CCA

A despeito de ser este um assunto relativamente antigo e dos resultados de pesquisas mostrarem o excelente potencial como pozolanas, as cinzas resultantes da queima da casca de arroz não têm sido muito utilizadas para produção de concreto tanto no Brasil quanto no exterior. Isso pode ser atribuído ao fato de que as cinzas de boa atividade pozolânica geralmente possuem teores elevados de carbono (acima de 5%), produzindo uma coloração cinza-escuro no concreto, pouco aceita no mercado

consumidor. Além disso, a presença desse tipo de cinza faz com que as argamassas e concretos com ela produzidos possuam uma coesão excessiva (aspecto “pegajoso”), como pode ser visto na Figura 10.



Figura 10 – Aspecto do concreto fresco confeccionado com cinza de casca de arroz com alto teor de carbono
Fonte: Santos, 1997

Por isso, os trabalhos mais recentes sobre o assunto (DAFICO, 2001; WEBER, 2001; SANTOS, 2003) têm se concentrado na busca de cinzas de baixo teor de carbono que apresentem elevados desempenhos como pozolanas.

Dafico (2001) realizou algumas tentativas de queima da casca de arroz em leito fixo, com o objetivo de produzir cinzas de casca de arroz com baixos teores de carbono (cinzas brancas) ou de reduzir os teores de carbono de cinzas já existentes, obtendo cinzas com médios teores de carbono (material de cor cinza). A opção por uma fornalha com leito fixo intermitente deveu-se pela disponibilidade de uma fornalha protótipo na UFSC, que fora construída e utilizada em diversos outros experimentos de queima de casca de arroz.

A fornalha foi feita em chapas de aço, isolada termicamente do meio externo por meio de tijolos refratários e construída originalmente com duas câmaras separadas por uma parede de chapa de aço. A Figura 11 mostra uma fotografia da fornalha de leito fixo para queima intermitente usada para os experimentos.

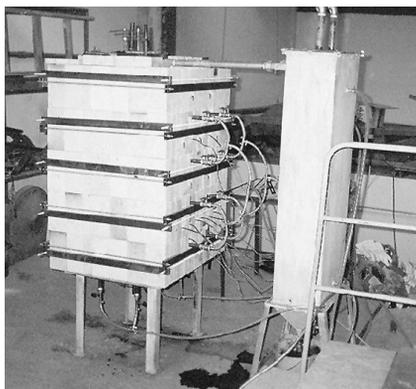


Figura 11 – Fornalha de leito fixo, usada para queima de casca de arroz
Fonte: Dafico, 2001

Uma vez que o fator limitante para se conseguirem cinzas brancas está na taxa de aquecimento do material (TUTSEK; BARTHA, 1977; SUGITA, 1994), o experimento de Dafico realizava a queima da casca de arroz em duas etapas: na primeira etapa, o ar era injetado no material de cima pra baixo e a ignição era feita por baixo do leito de casca de arroz. Com o aquecimento do fundo do leito, tinha início a produção e a volatilização de compostos de fácil combustão. Uma vez aquecidos, e encontrando o ar rico em oxigênio vindo de cima, queimavam e geravam calor suficiente para pirolisar e volatilizar mais compostos combustíveis na região imediatamente acima da anterior, e assim por diante. Essa frente caminhava para cima, deixando para trás cinzas com muito pouco carbono fixo. A Figura 12 explica esquematicamente a primeira etapa de queima, também chamada de pirólise.

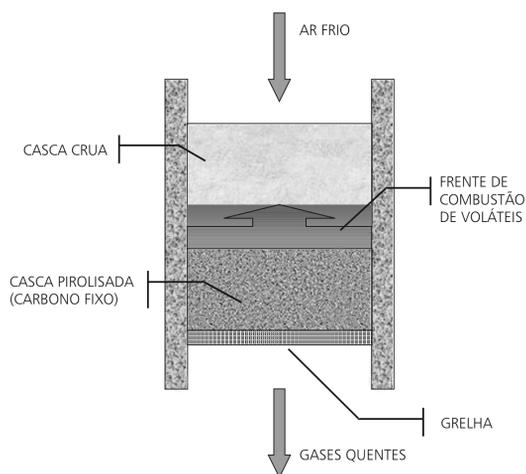


Figura 12 – Primeira etapa de queima da casca de arroz em leito fixo

Fonte: Dafico, 2001

250

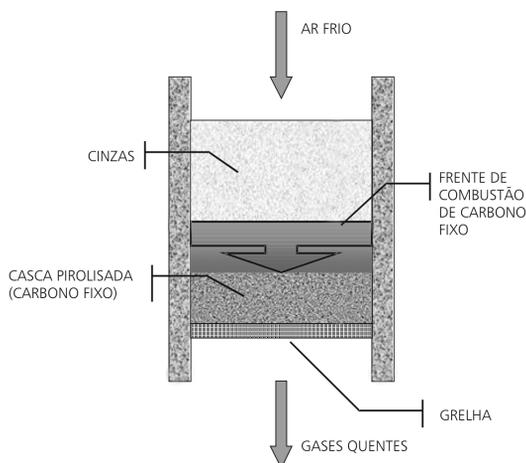


Figura 13 – Segunda etapa de queima da casca de arroz em leito fixo

Fonte: Dafico, 2001

Na segunda etapa de queima, como os voláteis já tinham sido consumidos, o oxigênio do ar era consumido pelo carbono fixo, aparecendo, então, uma nova frente de combustão, de cima para baixo, que deixava para trás cinzas puras, sem mais carbono a ser queimado. A Figura 13 traz um esquema da segunda etapa de queima.

Para possibilitar uma queima mais rápida e também para limitar a temperatura de queima, além do ar vindo de cima, foram instalados tubos de injeção de ar, para que, logo após a passagem da frente de combustão de voláteis, a combustão do carbono fixo fosse iniciada. A Figura 14 mostra um corte de uma das câmaras da fornalha indicando a localização dos tubos injetores de ar e dos termopares, instalados para o controle da temperatura, limitada a 700 °C para evitar a cristalização do material.

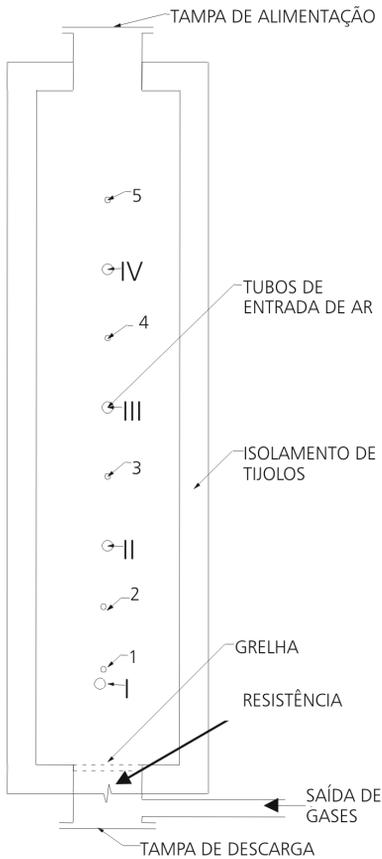


Figura 14 – Corte vertical da câmara de combustão da fornalha: I, II, III e IV – tubos injetores de ar; 1, 2, 3, 4 e 5 - termopares

Fonte: Dafico, 2001

A Figura 15 mostra os perfis de temperatura registrados pelos termopares ao longo da queima da casca crua.

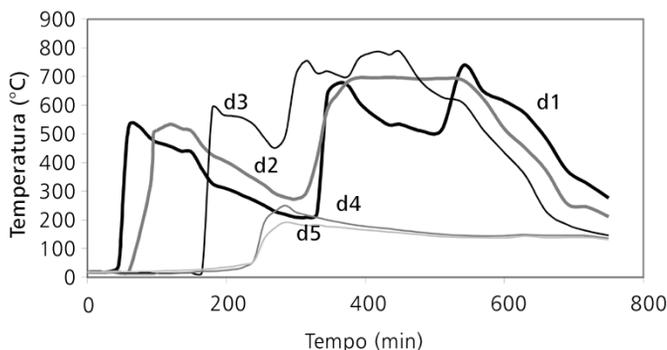


Figura 15 – Temperaturas medidas pelos termopares

Fonte: Dafico, 2001

Na região central da fornalha, as cinzas resultantes apresentavam cor branca (CCA/BT), porém, junto às paredes da fornalha (faixa em torno de 2 cm), a cinza resultante teve cor preta, o que foi atribuído ao fato de que as chapas de aço podiam conduzir calor por outros caminhos, havendo um resfriamento da região. O mesmo ocorreu quando da requeima da cinza de casca de arroz obtida pela queima da casca em leito fluidizado (CCA/AT), misturada com a casca crua (CCA/MT), ficando estas, ao final do processo, de cor cinza-clara ao centro e preta junto à parede da fornalha.

Ao comparar a reatividade química das diferentes cinzas de casca de arroz (CCA/BT, CCA/MT, CCA/AT) com a reatividade química sílica ativa e cinza volante, utilizadas como padrões de referência, foi possível observar que:

- as cinzas de casca de arroz apresentaram maior reatividade que as outras pozolanas estudadas;
- a reatividade química das cinzas aumentava com a diminuição do teor de carbono nelas presentes; e
- o material obtido poderia ser utilizado com vistas à produção de concretos e argamassas, à base de cimento Portland.

A partir daí, Weber (2001) desenvolveu um forno piloto, com leito fixo, intermitente, com capacidade para 1 m³ de material, na tentativa de produzir a cinza de

casca de arroz com baixo teor de carbono em escala comercial. Novamente após várias tentativas e diferentes proporções de casca/cinza, foi possível obter uma cinza que apresentou boas propriedades pozolânicas. A Figura 16 mostra o forno piloto.



Figura 16 – Vista geral do forno piloto
Fonte: Weber, 2001

Porém, mesmo com as adaptações sugeridas por Dafico (2001), como melhor distribuição do ar no interior do forno e utilização de paredes mais bem isoladas, o material produzido apresentou-se muito heterogêneo devido à dificuldade de aeração do material, essencial para uma boa queima.

O controle de temperatura, feito por meio de termopares instalados no interior do forno, mostrou variações bruscas, mesmo a pequenas distâncias, como pode ser observado na Figura 17.

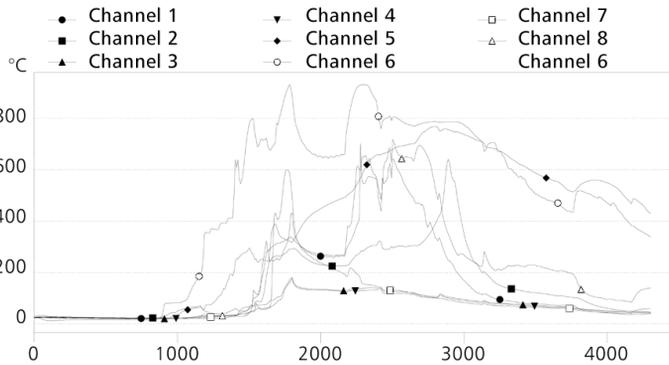


Figura 17 – Variação de temperatura no interior do forno piloto, para uma mistura de 50% de casca crua e 50% de cinza de cor preta

Fonte: Weber, 2001

O material resultante da queima mostrava-se bem claro próximo às saídas do ar e, a poucos centímetros destas, a cinza resultante da queima da mistura entre CCA/AT e casca de arroz, continuava de cor preta. Logicamente, com a moagem do material, feita após sua saída do forno, misturando-se esse material de cor heterogênea, obtinha-se um material de cor cinza-clara que, ao ser misturado com cimento, não alterava a cor do concreto (ou argamassa) com ele produzido.

Para que esse forno piloto pudesse, então, produzir um material homogêneo, havia necessidade de mudanças na distribuição do ar em seu interior, além de algumas outras reformas necessárias para seu melhor funcionamento. Assim, surgiu a idéia do desenvolvimento de um forno rotativo (SANTOS, a publicar), semelhante àqueles utilizados para a produção do cimento Portland, capaz de colocar todo o material a ser queimado em contato com o ar e, dessa forma, produzir uma cinza homogênea, com baixo teor de carbono. As Figuras 18 e 19 mostram um esquema do forno rotativo idealizado.

PROTÓTIPO - DESENHO ESQUEMÁTICO
 Perspectiva - Sem escala



Figura 18 – Croqui do forno rotativo idealizado

PROTÓTIPO - DESENHO ESQUEMÁTICO
Vista lateral - Sem escala

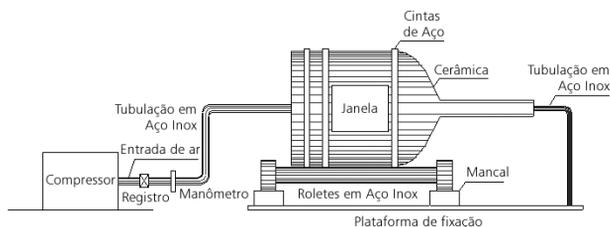


Figura 19 – Desenho esquemático do forno rotativo idealizado

Com o desenvolvimento desse forno, está sendo pesquisada uma metodologia de reciclagem mais eficaz e apropriada para ser utilizada em unidades industriais, a partir de uma parceria da Universidade Federal de Santa Catarina com uma empresa privada, a Rischbieter – Engenharia Indústria e Comércio Ltda., da cidade de Gaspar, SC.

Nesta parceria está sendo utilizado um sistema industrial desenvolvido pela empresa, com forno rotativo contínuo, construído em aço 316, capaz de produzir, seja a partir da queima da casca ou da requeima da cinza, uma cinza de casca de arroz com baixo teor de carbono (CCA/BT). Para viabilizar a produção comercial da CCA com baixo teor de carbono, está sendo realizado o monitoramento das temperaturas de queima do material bem como dos tempos de permanência desse material no interior do forno. Também está sendo dado um tratamento prévio da cinza, antes da requeima, para otimização do processo de redução do teor de carbono.

O material será avaliado quanto ao seu desempenho como material pozolânico não apenas do ponto de vista da resistência mecânica, mas, sobretudo, quanto à durabilidade dos concretos com ele produzidos. Igualmente, será investigada sua compatibilidade com aditivos redutores de água (superplastificantes), visando à sua utilização em concretos de alto desempenho.

Para os estudos preliminares desenvolvidos na Rischbieter – Engenharia Indústria e Comércio Ltda., foi estabelecida uma única fonte produtora de cinza de casca de arroz (CCA/AT), a Beneficiadora de Arroz Urbano Ltda., da cidade de Rio do Sul, SC, por ser uma cinza produzida com um processo controlado de temperatura (700 °C). A Figura 20 apresenta o difratograma de raios X dessa cinza.

Para determinar qual a melhor temperatura para a requeima da cinza de casca de arroz bem como o melhor tempo de retenção desta cinza no forno, a fim de se

obter um produto final com baixo teor de carbono (cor clara), foi estabelecido um programa de queima a ser seguido pela Rischbieter – Engenharia Indústria e Comércio Ltda. A Tabela 3 apresenta esse programa.

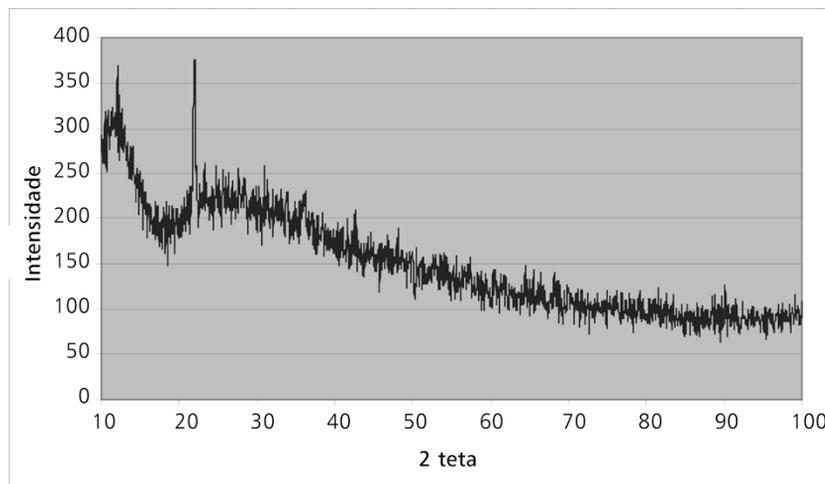


Figura 20 – Difratograma de raios X da cinza de casca de arroz bruta

Temperatura de queima (°C)	500, 600, 700 e 800
Tempo de retenção no forno, para cada temperatura de queima (minutos)	40, 60 e 80
Tempo de moagem, para cada tempo de retenção (horas)	1, 2 e 3

Tabela 3 – Programa de queima da cinza de casca de arroz

Inicialmente, com cada uma das cinzas geradas, num total de 48, serão produzidas argamassas para estabelecer seu potencial pozolânico e sua compatibilidade com aditivos redutores de água, com vistas à produção de concreto de alto desempenho. Para tanto foi estabelecido um traço inicial do concreto e, na argamassa do traço, serão realizados os primeiros estudos, segundo procedimentos recomendados por Gava (1999) e pela NBR 5752:1992. Foram fixadas a relação água/cimento e a consistência *flow table*, respectivamente, em 0,3 e $(23,5 \pm 1,5)$ cm, para a produção das argamassas.

A substituição de cimento pela cinza de casca de arroz com baixo teor de carbono será feita em volume absoluto de cimento, num teor de 15%, conforme Santos (1997), e a consistência fixada será alcançada com uso de aditivos superplastificantes de três bases químicas diferentes: naftaleno sulfonado, melamina, policarboxilato, a fim de se avaliar o comportamento das cinzas mediante o uso desses produtos.

Para avaliação de desempenho, serão produzidas, nas mesmas condições, argamassas sem a adição de cinza de casca de arroz (chamadas de referência) e argamassas com adição de sílica ativa, pozolana atualmente mais utilizada para a produção de concreto de alto desempenho.

Até o presente momento foram produzidas pela Rischbieter – Engenharia Indústria e Comércio Ltda. as cinzas com baixo teor de carbono com uma hora de moagem, às temperaturas de 800, 700 e 600 °C, nos quatro tempos de retenção no forno previamente estabelecidos. Para a temperatura de 500 °C, foi produzida apenas a cinza com 80 minutos de retenção.

Nos ensaios de difração de raios X realizados para as cinzas já produzidas (Figura 21), observa-se claramente que a intensidade dos picos cristalinos aumenta com a temperatura de requeima, para o mesmo tempo de exposição (1 hora), o que já era esperado. Entretanto, precisa-se confirmar se este aumento de cristalinidade realmente influencia significativamente na atividade pozolânica da cinza.

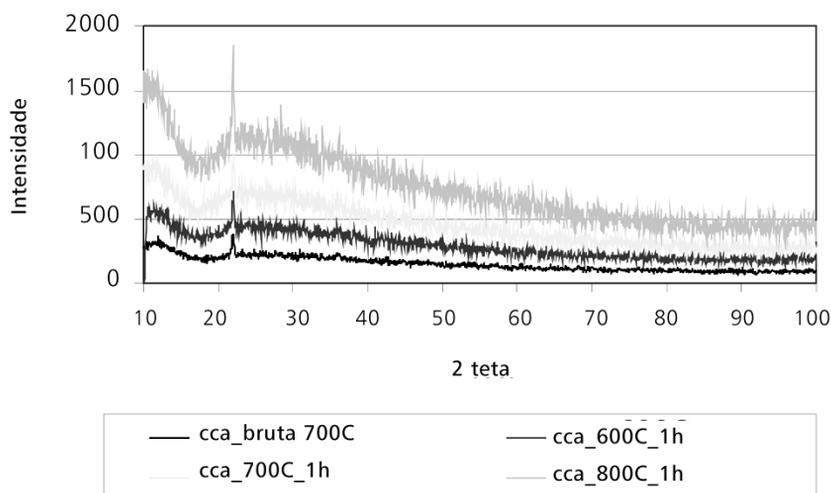


Figura 21 – Difração de raios X da CCA/BT, produzida em diferentes temperaturas

Embora ainda não se tenham os resultados de índice de atividade pozolânica de nenhum dos materiais, a produção das argamassas revelou que não há, no estado fresco, nenhuma incompatibilidade entre a cinza de casca de arroz com baixo teor de carbono e os diferentes aditivos utilizados.

Também foi possível observar que o consumo de aditivos para a consistência estabelecida não se alterou com a variação do tempo de retenção no forno e temperatura de queima para o mesmo tempo de moagem (uma hora). Além disso, para todos os casos, o consumo de aditivo ficou abaixo do limite mínimo preconizado pelo fabricante.

O estudo servirá para indicar quais as melhores condições para produção da CCA/BT pela empresa (temperatura de queima, tempo de permanência no forno e superfície específica). Identificadas essas condições, a CCA/BT será produzida nas condições ótimas indicadas e com ela será realizado o estudo em concreto. Além das propriedades mecânicas, os concretos serão avaliados quanto aos aspectos relativos à durabilidade, uma vez que estudos recentes têm mostrado a possibilidade de ocorrência de patologias com o emprego de cinza de casca de arroz como adição aos concretos de cimento Portland (SILVEIRA, 2002). Cabe salientar, ainda, que os problemas relatados ocorreram mesmo quando do uso de cinzas totalmente amorfas, produzidas no exterior, sob condições de queima controladas.

Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos**: determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – índice de atividade pozolânica com cimento. NBR 5752. Rio de Janeiro, 1992.
- BOETENG, A. A.; SKEET, D. A. Inceneration of rice hull for use as a cementitious material: the Guyana experience. **Cement and Concret Research**, v. 20, p. 795-802, 1990.
- CINCOTTO, M. A. et al. Optimization of rice husk ash production. In: SOBRAL, H. S. (Ed.). **Proceedings of the second international RILEM symposium**. Salvador, 1990, p. 334-342.
- FARIAS, J. S. A.; RECENA, F. A. P. Study for Brazilian rice husk ash cement. In: SOBRAL, H. S. (Ed.). **Proceedings of the second international RILEM symposium**. Salvador, 1990. p. 360-369.
- GAVA, G. P. **Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação de atividade pozolânica**. 1999. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- GUEDERT, L. O. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza de casca do arroz como material pozolânico**. 1989. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.
- HOUSTON, D. F. Rice Hulls, Rice Chemistry and Technology. **American Association of Cereals Chemistry**, Minnesota, p. 301-352, 1972.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 maio 2003.

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

MEHTA, P. K. Rice Husk Ash: A Unique Supplementary Cementing Material. **Advances in Concrete Technology**, Ottawa: Canmet, p. 407-431, 1992.

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

SANTOS, S. **Otimização da produção comercial de cinza de casca de arroz com baixo teor de carbono**. Exame de qualificação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, a publicar (2003).

SILVEIRA, A. A. **A utilização da cinza de casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos**: estudo do ataque por sulfatos. 1996. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

SILVEIRA, A. A.; RUARO, P. A adição de cinza de casca de arroz em concretos: Estudo da influência do tipo de cinza na resistência à compressão e na microestrutura do concreto. **Seminário da Disciplina de Novos Materiais**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

SILVEIRA, A. A. **O efeito da incorporação de cinza de casca de arroz em concretos submetidos à reação álcali-agregado**. 2001. 102 f. Proposta (Tese) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SUGITA, S.; SHOYA, M.; TOKUDA, H. Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash. In: MALHOTRA, V. M. (Ed.). International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 4th, Istanbul: ACI. **Proceedings...**, 2v., v. 1, p. 495-512 (SP132), 1993.

SUGITA, S.; HOHKOHNO, A.; NIIDA, O.; SHI, H.; KEN, A. **Method of Producing Active Rice Husk Ash**. United States Patent. Patent Number: 5,329,867, 1994.

TUTSEK, A.; BARTHA, P. **Method of Producing Low-Carbon White Husk Ash**. United States Patent. Patent Number: 4,049,464, 1977.

WORLD RICE PRODUCTION – Prospects Fall. Disponível em:
<www.fas.usda.gov>. Acesso em: 12 maio 2003.