

ESTUDO EXPERIMENTAL DA COMBUSTÃO DA CASCA DE ARROZ EM FORNALHA DE LEITO FIXO

Dario de Araújo Dafico

Narciso Angel Ramos Arroyo

Orestes Estevan Alarcon

Luiz Roberto Prudêncio Jr.

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, 88010-970, Florianópolis, SC, Brasil, E-mail: dariodafico@altavista.net

Resumo

Este trabalho mostra um estudo experimental da combustão da casca de arroz em fornalha de leito fixo com o objetivo de obter cinzas com baixo teor de carbono, um produto de alto valor comercial para utilização na indústria do concreto de cimento Portland. Inicialmente foram feitas diversas experiências preliminares e em seguida foi construída uma fornalha protótipo para realização de experiências de queima em diferentes situações. Foram instalados termopares em várias posições dentro do equipamento possibilitando analisar o efeito do modo de ignição e da forma de distribuição do ar para combustão na evolução das temperaturas durante a queima do material. No trabalho conseguiu-se produzir cinzas com baixo teor de carbono como foi inicialmente proposto.

Palavras chave: Combustão, Cinza de Casca de Arroz, Pozolana, Concreto

1. INTRODUÇÃO

Sílica ativa é a sílica pouco cristalina e com alta superfície específica produzida como sub-produto da indústria do silício e do ferro silício. O material possui elevadas propriedades pozolânicas, isto é, grande reatividade com a cal liberada na hidratação do cimento Portland. Por este motivo se esta pozolana for adicionada às misturas para produção de concreto, ela pode contribuir de modo bastante eficaz no aumento da resistência mecânica e na durabilidade do material. A sílica ativa é um produto de grande valor comercial por suas excepcionais qualidades e por ter oferta bem menor que a demanda. Entretanto sílica de reatividade até superior a esse material pode ser obtida a partir da queima da casca de arroz.

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, que a preocupação em 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 a 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.

Apesar de existir um grande número de trabalhos tratando do assunto, a quase totalidade deles relata a obtenção de cinzas de boa atividade pozolânica mas com teores elevados de carbono. Apesar de ser este um assunto relativamente antigo, as cinzas resultantes da queima da casca de arroz não tem sido muito utilizadas para produção de concreto no Brasil nem no exterior. O mercado consumidor não vê com bons olhos um concreto produzido com uma cinza de cor negra, o que provoca uma coloração cinza escura no concreto, quase preta.

SUGITA *et al.* (1992) relatam um processo de queima da casca de arroz realizado em duas etapas. Na primeira a casca é aquecida à uma temperatura entre 300 °C e 350 °C , e é mantida assim até a volatilização de toda água e hidrocarbonetos. Só após a eliminação de parte dos voláteis (etapa de pirólise) a temperatura é aumentada para realizar-se a combustão. Assim, segundo o autor, obtêm-se uma cinza na forma de um fino pó branco, com menos de 3 % de carbono, e com alta reatividade. Apesar do processo produzir um material de qualidades excepcionais, não se tem notícia de sua utilização pela indústria, provavelmente pelos altos custos na construção e operação do equipamento necessário, que consiste basicamente de dois fornos giratórios, um para cada fase do processo.

O presente trabalho teve o objetivo de estudar o comportamento térmico da pirólise e combustão da casca de arroz em leito fixo, com o propósito de subsidiar a construção de um equipamento mais simples e econômico que o patenteado por Sugita (1994) para produção industrial de cinza de casca de arroz com baixo teor de carbono, processo este que é uma evolução do método patenteado por Tutsek *et al* (1977).

Neste trabalho primeiramente foram realizadas algumas experiências preliminares para subsidiar a construção de um protótipo e, após a construção da fornalha protótipo, foram realizadas outras experiências que culminaram na obtenção de cinzas com baixo teor de carbono como havia sido proposto, mostrando a viabilidade do método.

2. EXPERIMENTOS PRELIMINARES

2.1 Chama direta

A primeira experiência foi feita para visualizar a queima da casca de arroz colocando-a para queimar diretamente sobre uma chama à gás. Verificou-se após várias tentativas que a chama não se sustenta quando o gás é desligado e a cinza queimada fica preta por mais tempo que fique sobre a chama de gás.

2.2 Cachimbo

O segundo experimento teve como objetivo verificar de maneira simplificada, e com um mínimo de equipamento, a dificuldade ou facilidade da combustão da casca de arroz, e se é possível alcançar-se com facilidade temperaturas elevadas. Utilizou-se como câmara de combustão um pedaço de tubo de aço de diâmetro interno de 1 polegada por 25 cm de comprimento, ao qual adaptou-se um ventilador de acionamento manual para acendimento de churrasqueiras de forma a trabalhar aspirando os gases.

O tubo foi colocado na posição vertical e enchido de casca de arroz com o objetivo de fazer o conjunto funcionar como um cachimbo de fumar. Foi feito um furo próximo à base do tubo e nele foi inserido um termopar para medida da temperatura dos gases passantes e da frente de combustão quando essa alcançasse este ponto. A temperatura foi medida a cada minuto e o experimento durou 3 minutos.

Verificou-se que a combustão da casca de arroz pode se processar com facilidade desde que haja suprimento suficiente de ar e que pode-se alcançar facilmente temperaturas tão elevadas quanto os 1190 °C observados no experimento.

2.3 Calha com visor de vidro

Os terceiro e quarto experimentos preliminares objetivaram verificar, através de outra experiência simples, a espessura e a velocidade de deslocamento da camada de combustão da casca de arroz queimada em leito fixo, simulando um processo contínuo, quando o fluxo de ar é controlado de forma a manter a temperatura da camada de combustão no máximo a 600 °C.

Para isso construiu-se uma calha de chapa fina de aço com um perfil das abas que possibilitasse a inserção de uma lâmina de vidro por cima para poder visualizar-se a combustão através do vidro, podendo-se assim medir o deslocamento da camada de combustão e sua espessura. A calha possuía 120 cm de comprimento com seção interna de 8x 8 cm. Ela foi posicionada horizontalmente e, para possibilitar o fornecimento contínuo de ar, foi instalado na saída da calha um pequeno aspirador de ar para sucção dos gases. Na calha não havia nenhum tipo de isolamento para o calor gerado na combustão. Para medição das temperaturas foi nela instalado 1 termopar a 10 cm da posição de início da combustão.

A intensidade de sucção do exaustor foi regulada em função da intensidade e cor da luz produzida pela frente de combustão. Esperava-se determinar a espessura e temperatura da frente de combustão assim que ela alcançasse a posição do termopar.

No terceiro experimento a chama se apagou, mas no quarto, com o exaustor regulado para uma sucção de ar mais intensa, a queima se processou como planejado e pôde-se verificar que a camada de combustão possui entre 15 e 20 cm quando a temperatura se situa na faixa de 500 a 600 °C.

Verificou-se também que o resíduo resultante era bastante carbonoso, isto é, a chama se apaga após queima de parte do combustível. Isso ocorre porque a taxa geração de calor na combustão torna-se inferior à taxa de perda de calor, causando o esfriamento do material e, conseqüentemente, o fim das reações de combustão.

2.4 Mini-fornalha de leito fixo

Os experimentos 5 e 6 tiveram o objetivo de queimar uma pequena quantidade de casca de arroz em leito fixo para observar o tempo necessário para queima numa temperatura máxima de 600 °C. Também o de verificar se após a queima a cinza possui coloração clara indicando baixo teor de carbono.

Para isso foi construída uma pequena fornalha cilíndrica de paredes de aço com altura de 25 cm e diâmetro de 30 cm, com fundo fixo e tampa removível. Atravessando o centro da tampa foi instalado um tubo de diâmetro de 0,5 cm para entrada de ar cuja ponta atingia 1 cm do fundo da fornalha. Na tampa, próximo ao centro, foi ainda instalada uma chaminé de diâmetro de 0,5 cm para saída dos gases da combustão. Foi também instalado um termopar a aproximadamente 2 cm da ponta do tubo de suprimento de ar.

A fornalha recebeu uma camada isolante de tijolos refratários por cima e pelas laterais. O isolamento possibilitava a abertura durante o ensaio de frestas para passagem de ar por fora da fornalha com objetivo de acelerar a perda de calor quando isso fosse necessário. A fim de proporcionar o calor necessário para a pirólise e ignição da casca o equipamento foi montado sobre um fogareiro a gás. O ar para combustão era suprido por um compressor de ar e o fluxo foi controlado através de um registro manual ligado a um rotâmetro.

No experimento 5 a massa inicial de casca colocada na fornalha foi de 700 gramas e após a queima que durou cerca de 275 minutos verificou-se que a massa final de cinzas foi de 170 gramas. Observou-se que as cinzas em um raio de aproximadamente 3 cm da ponta do tubo de entrada do ar ficaram bem claras, quase brancas, enquanto que as cinzas das outras regiões permaneceram pretas.

Verificou-se ser necessário um tempo relativamente grande para a queima da casca de arroz em leito fixo e que era preciso uma melhor distribuição do ar para combustão para possibilitar uma queima completa e assim obter cinzas com baixos teores de carbono.

Em razão do exposto, para o experimento 6 foram feitos vários furos no tubo de suprimento de ar e ele foi moldado na forma de um anel para que o ar fosse melhor distribuído dentro da fornalha. Durante o experimento a vazão de ar teve que ser aumentada várias vezes assim que a temperatura começava a diminuir demonstrando que à medida que o combustível vai sendo consumido é necessário haver uma atmosfera mais rica em oxigênio para conseguir-se manter a temperatura.

Este experimento resultou em uma cinza muito clara em quase todo o volume com exceção de uma fina camada em contato direto com as paredes metálicas da fornalha. O volume aparente de material reduziu-se para aproximadamente 20 % da altura da fornalha.

Concluiu-se que é possível produzir cinza de casca de arroz em leito fixo mas que é necessário haver boa distribuição do ar e que, no final da combustão, faz-se necessário que a perda de calor pelas paredes da fornalha seja muito pequena para possibilitar a queima do carbono remanescente.

3. EXPERIMENTOS COM O PROTÓTIPO DE FORNALHA PARA COMBUSTÃO EM LEITO FIXO – PROCEDIMENTOS, RESULTADOS E CONCLUSÕES

Baseado no fato de que um dos principais problemas com relação ao alto teor de carbono na cinza da casca de arroz se deve ao rápido esfriamento do material quando o conteúdo energético remanescente se torna pequeno, propôs-se construir uma fornalha composta de duas câmaras separadas por uma chapa de aço, de modo que fosse possível iniciar a combustão em uma câmara quando na outra a combustão já estivesse em declínio.

Com esta proposta esperava-se que quando a taxa de combustão em uma câmara começasse a diminuir, a combustão poderia ser mantida, até a queima completa do carbono remanescente, com auxílio do calor fornecido pela outra câmara. Desse modo o conjunto composto pelas duas câmaras funcionaria como se fosse uma fornalha de queima contínua, apesar de compostas por duas câmaras separadas funcionando como fornalhas intermitentes.

A fornalha foi isolada lateralmente com tijolos refratários mas possuía em cada câmara uma parede trocadora de calor com o meio externo através de passagem de ar de resfriamento. Através desses dispositivos esperava-se poder usar o ar aquecido para secagem de grãos na indústria, aproveitando-se assim a energia gerada durante a queima. Para início da combustão foi instalada uma resistência elétrica blindada de 1000 watts por dentro de cada câmara.

O ar para combustão podia ser introduzido por baixo e distribuído através de chapas perfuradas instaladas no fundo de cada câmara, ou através dos 4 tubos perfurados que atravessavam cada câmara.

A figura 1 mostra um corte horizontal e vertical da fornalha, onde pode-se ver a posição dos tubos de injeção de ar E-I, E-II, E-III, E-IV, D-I, D-II, D-III e D-IV, e dos termopares e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e8, e9, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, e d9. O fluxo de ar era controlado através de válvulas de acionamento manual ligados a dois rotômetros. Para que a temperatura nas câmaras não excedessem ao valor estipulado de 550 °C, foram também instaladas 2

válvulas automáticas de fechamento de fluxo ligadas aos termopares e2 e d2 respectivamente. Com esta fornalha foram feitas 3 experiências que são descritas a seguir.

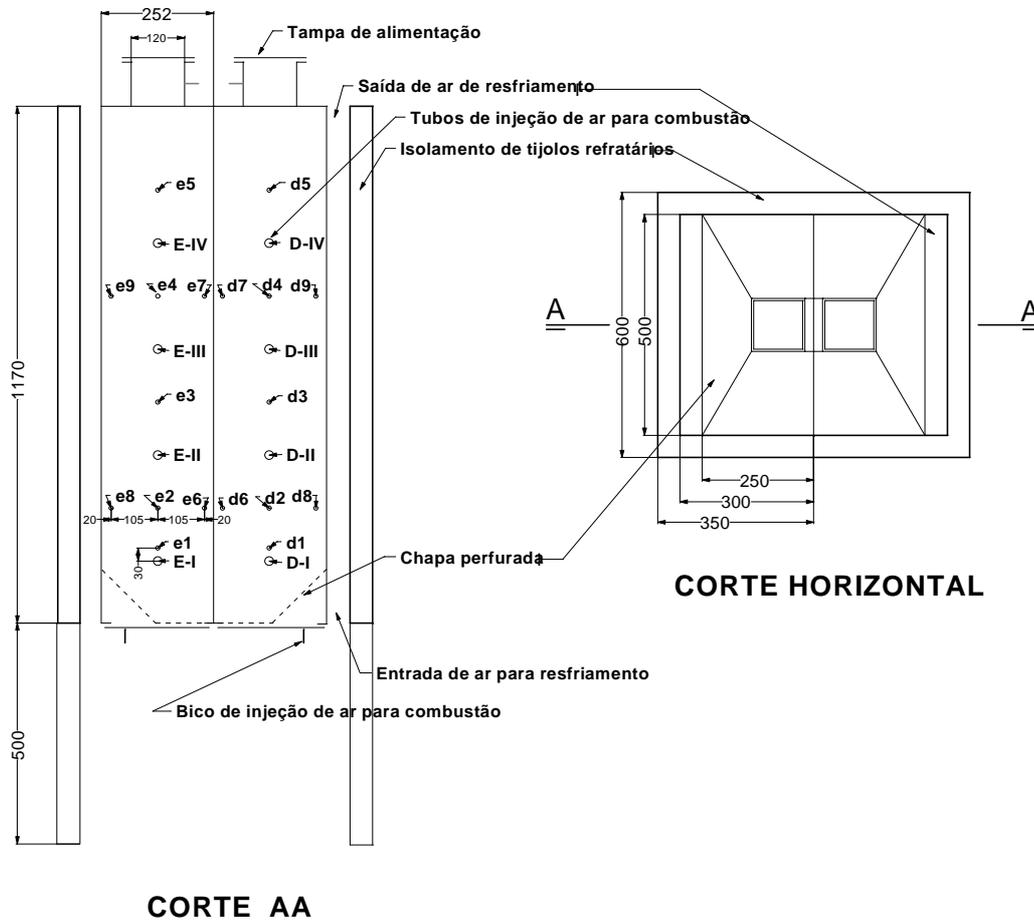


Figura 1 – Vista frontal da fornalha com a posição dos termopares

3.1 Injeção de ar distribuído por baixo

Na primeira experiência com a fornalha protótipo a câmara esquerda foi enchida com 15 Kg de casca de arroz e a direita com 7 Kg de carvão. O acendimento foi feito pela câmara direita, com o propósito de usar-se a energia do carvão para pirolizar a casca de arroz colocada na câmara esquerda.

A injeção de ar a partir do instante 20 minutos foi feita por baixo na câmara direita a uma taxa que variou de 3 a 24 m³/h até ser desligado no instante 430 minutos quando a temperatura não pôde mais ser mantida com aumento da taxa de injeção de ar. A partir do instante 445 minutos começou-se então a injetar ar na câmara esquerda, também por baixo, a uma taxa de 3 m³/h, até o fim do experimento.

A figura 2 mostra um gráfico com as variações das temperaturas dos termopares instalados na fornalha em função do tempo.

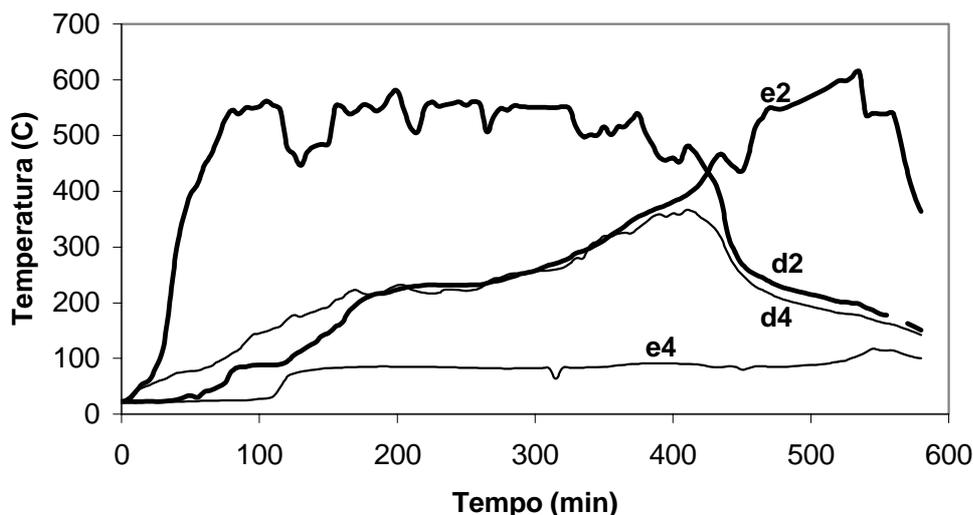


Figura 2 – Evolução das temperaturas no experimento de injeção de ar por baixo

Como pode-se notar não conseguiu-se uniformidade na temperatura em nenhuma das duas câmaras, ou seja, nem na câmara que fornecia o calor através da queima de carvão, nem na câmara cheia de casca de arroz onde ocorria o processo de pirólise, apesar do longo tempo que durou a experiência.

A injeção de ar somente por baixo fez com que a combustão ocorresse somente na região inferior, prejudicando a distribuição do calor por toda a fornalha. A casca de arroz funciona como isolante térmico por causa de sua estrutura porosa e em função da dificuldade com que o ar tem de movimentar entre os grãos e transferir calor por convecção. Também por ser uma queima em leito fixo há ainda grande dificuldade de distribuição do calor por irradiação já que esta é absorvida pela zona mais próxima à região em combustão. Em função da dificuldade de homogeneização das temperaturas nesse experimento concluiu-se que havia necessidade de melhor distribuição do ar para a combustão.

3.2 – Injeção de ar pelos tubos transversais

Para melhorar a distribuição de ar, na segunda experiência com a fornalha protótipo o ar foi injetado através dos tubos perfurados descritos anteriormente. O dispositivo de distribuição de ar por baixo foi eliminado e fechado com uma camada isolante. O ar foi injetado somente na câmara direita a uma taxa média de $4 \text{ m}^3/\text{h}$.

Com o objetivo de produzir um acendimento mais uniforme foi também eliminado o acendimento interno feito através de resistências elétricas, sendo substituídas por um acendimento feito com chama a gás diretamente na chapa de aço de cada câmara, distribuído verticalmente por dois tubos perfurados instalados dentro das passagens de ar de resfriamento.

Na câmara direita foi colocado 10,5 Kg de carvão para queimar e fornecer energia para pirolizar os 14,9 Kg de casca de arroz colocados esquerda. O acendimento foi feito com chama de gás diretamente na chapa da câmara direita que ficou acesa durante 55 minutos. A câmara esquerda foi totalmente cheia de casca de arroz e na câmara direita foi colocado carvão até uma altura de 40 cm.

A figura 3 mostra as temperaturas da câmara esquerda medida pelos termopares e1, e2, e4, e6, e8 e a figura 4 mostra as temperaturas da câmara direita medida pelos termopares d1, d2, d4, d6, d8 durante todo o experimento.

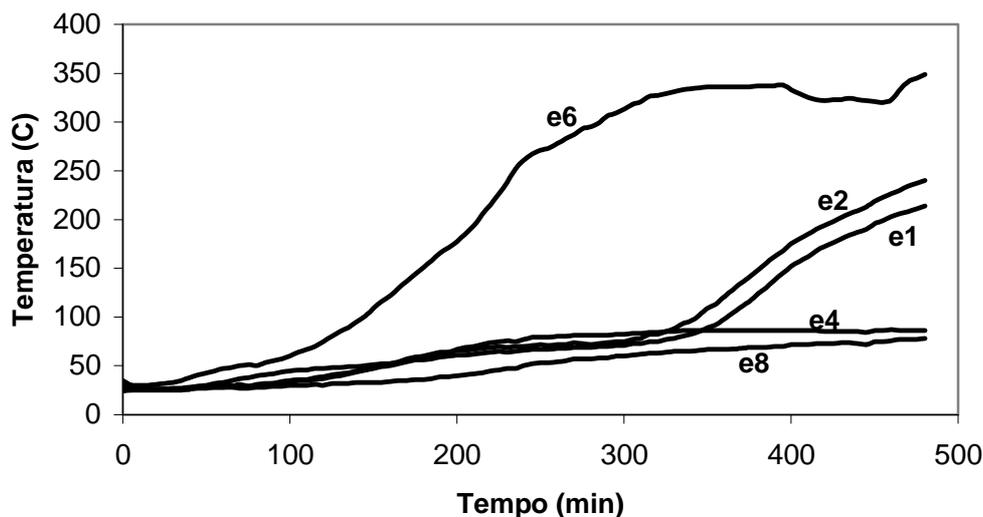


Figura 3 – Evolução das temperaturas da câmara esquerda durante a pirólise da casca

Como se pode observar, apesar da experiência ter consumido um tempo relativamente longo (decidiu-se parar a injeção de ar aos 480 minutos), o calor produzido na câmara direita através da combustão de carvão não se distribuiu para toda a fornalha como se esperava. Só a região em contato com a câmara direita (termopar e6) alcançou temperaturas de pirólise. Apesar disso resolveu-se que na próxima experiência seria queimada a casca de arroz semi-pirolizada desta experiência e ainda seria pirolizado um outro carregamento de casca de arroz.

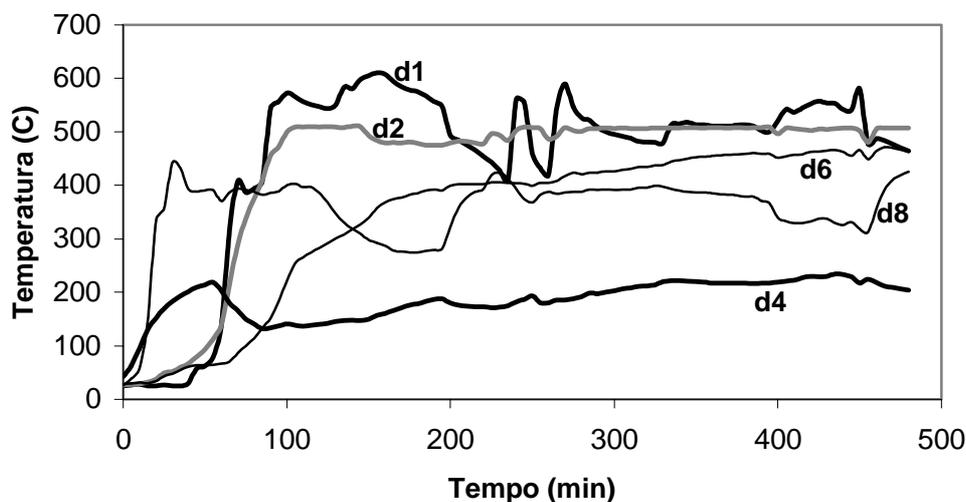


Figura 4 – Evolução das temperaturas da câmara direita durante a combustão do carvão

3.3 Combustão da casca semi-pirolizada com injeção de ar pelos tubos transversais

Nesta última experiência fez-se a combustão da casca de arroz já semi-pirolizada da experiência anterior e a pirólise de um novo carregamento de casca crua na outra câmara da fornalha. O objetivo principal era verificar se esta queima resultaria em cinza com baixo teor de carbono. Na câmara esquerda foi deixado o material semi-pirolizado da experiência anterior e na câmara direita foi colocada 14 Kg de casca de arroz, o que foi suficiente para encher totalmente a câmara.

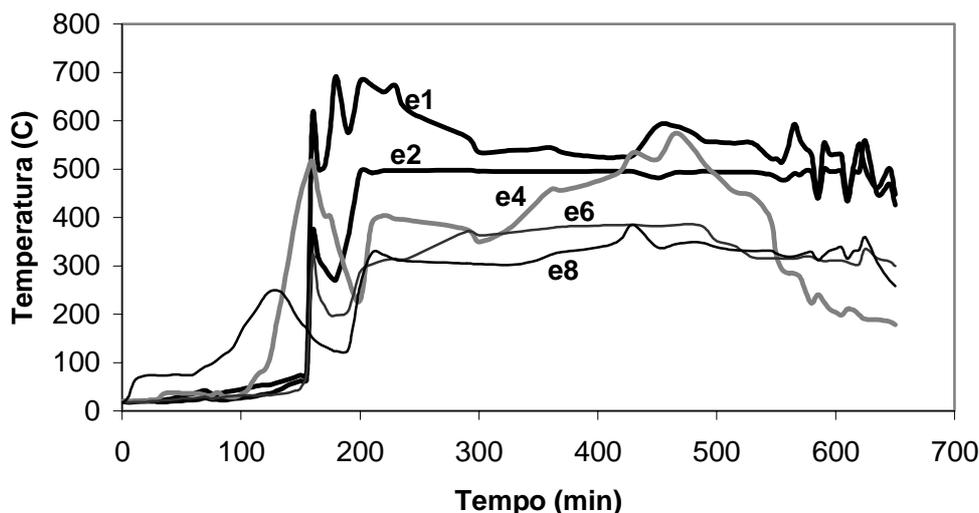


Figura 5 – Evolução das temperaturas da câmara esquerda durante a combustão da casca

O acendimento foi feito do lado da casca semi-pirólizada com auxílio dos dois tubos queimadores a gás. O ar foi injetado somente na câmara esquerda através dos tubos perfurados a uma taxa média de 3 m³/h durante 830 minutos. A figura 5 mostra a evolução das temperaturas da câmara esquerda medida pelos termopares e1, e2, e4, e6, e8 e a figura 6 da câmara direita medida pelos termopares d1, d2, d4, d6, d8 nos primeiros 650 minutos.

No outro dia foram retiradas as cinzas da câmara esquerda o que resultou numa massa de 2,3 Kg. Quase todo o volume de cinzas apresentava-se com coloração bem clara, quase branca, mas a parte resultante da queima realizada próxima às paredes de aço da fornalha apresentava-se preta, apesar do isolamento feito com tijolos refratários que cobria externamente as chapas de aço da fornalha. Também verificou-se que há condensação de betume nas paredes de aço.

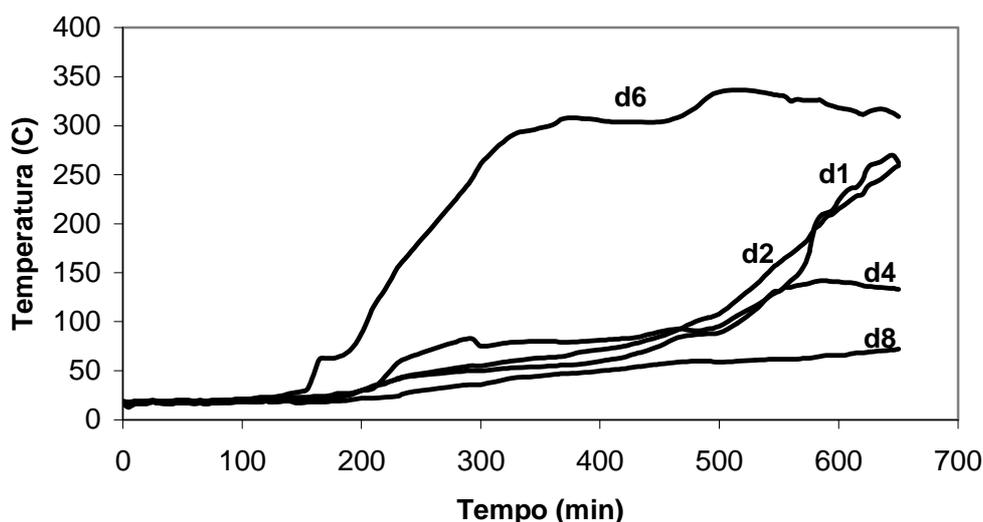


Figura 6 – Evolução das temperaturas da câmara direita durante a pirólise da casca

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fato de ter-se obtido cinza branca no trabalho, apesar de parte preta, demonstra que é possível obtê-la em leito fixo. As chapas de aço das paredes da fornalha, mesmo que isoladas externamente, revelam-se rotas de fuga de calor, o que impede que a casca seja totalmente queimada nas regiões próximas às paredes da fornalha. Para solução do problema deve ser suficiente fazer-se o revestimento interno da fornalha com material refratário.

Verifica-se que a proposta inicial de utilização da transferência de calor de uma câmara para outra, para realizar a pirólise da casca e depois a manutenção da temperatura para queima do carbono residual, é um método ineficiente. Isto deve-se à característica isolante da casca de arroz, que impede a ocorrência de elevadas taxas de transferência de calor por radiação, condução ou convecção. Entretanto a energia necessária para a pirólise da casca de arroz, etapa fundamental para que as cinzas resultantes tenham baixo teor de carbono, pode ser obtida na vizinhança da região de pirólise a partir da combustão do material já pirolizado pertencente ao mesmo leito.

De acordo com o exposto no texto, há necessidade de um esclarecimento científico com relação ao tempo de queima da casca de arroz, como também quais as reações prováveis envolvidas no processo de combustão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Metha, P.K. (1992) *Rice Husk Ash – A Unique Supplementary Cementing Material*. Advances In Concrete Technology. Ottawa : CANMET, p.407-431

Sugita, S.; Shoya, M. and Tokuda, H. (1992) *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, 1993, 2v., v.1, p. 495-512 (SP132)

Sugita, S; Hohkohno, A.; Niida, O.; Shi, H.; Ken, A.(1994) *Method of Producing Active Rice Husk Ash*. United States Patent. Patent Number : 5,329,867

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