

DESEMPENHO MECÂNICO DE TIJOLOS PRENSADOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE TELHAS CERÂMICAS, CIMENTO PORTLAND E CINZA DE CASCA DE ARROZ: NATURAL E PRODUZIDA EM LABORATÓRIO

Henrique do Carmo Barros¹

Paulo Modesto Filho²

Juzélia Santos³

RESUMO: O setor das indústrias de cerâmica é grande consumidor de recursos naturais, de energia, grande emissor e gerador de gases e resíduos. No processo de parboilização do arroz são gerados 20% de Cinzas da Casca de Arroz (CCA). As CCA, quando devidamente processadas, desenvolvem atividades pozolânicas. Ensaios de resistência mecânica de tijolos prensados com Agregados Reciclados de Telha Cerâmica (ARTC) e CCA revelaram que a cinza natural, descartada pelas beneficiadoras de arroz, tem potencial de uso na fabricação desse tipo de artefato construtivo, em substituição parcial ao cimento Portland.

PALAVRAS-CHAVE: agregado reciclado de telha cerâmica (ARTC), cinza de casca de arroz (CCA), pozolanas artificiais, tijolos prensados.

ABSTRACT: The ceramic industry sector is a large consumer of natural resources, energy, and a large emitter and generator of gas and waste. In the process of parboiled rice is generated 20% Rice Husk Ash (RHA). The RHA, when properly processed, develops pozzolanic activities. Mechanical strength tests of bricks manufactured with Ceramic Tile Recycled Aggregates (ARTC), and RHA revealed that the natural gray, ruled by rice processing has potential use in the manufacture of this type of constructive artifact in partial replacement of Portland cement.

KEYWORDS: ceramic tile recycled aggregates (ARTC), rice husk ash (RHA), artificial pozzolans, pressed bricks.

¹ Mestrando em Engenharia de Edificações e Ambiental (UFMT). Professor do Depto De Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - Campus Cuiabá. *E-mail:* henrique.barros@ifmt.edu.br

² Doutor em Meio Ambiente e Biologia Aplicada, pelo Université Catholique de Louvain, Bélgica (1991). Professor Associado I da Universidade Federal de Mato Grosso. *E-mail:* modesto@ufmt.br.

³ Doutora em Ciências dos Materiais, pela Universidade Federal de São Carlos-SP (UFSCar). Professora do Depto. de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - Campus Cuiabá. *E-mail:* juzelia.costa@cba.ifmt.edu.br

INTRODUÇÃO

O presente artigo pretende mostrar um dos objetivos específicos propostos na dissertação de mestrado apresentada, pelo autor, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, em 2012, com o título: *FABRICAÇÃO DE TIJOLOS PRENSADOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE TELHAS CERÂMICAS, CIMENTO PORTLAND E CINZA DE CASCA DE ARROZ*.

O objetivo da pesquisa foi produzir um tijolo prensado a partir de Agregados Reciclados de Telha Cerâmica (ARTC) e Cinza de Casca de Arroz (CCA) substituindo parcialmente o Cimento Portland CP II-F-32 em 20, 25 e 30% na mistura com traço 1:9 [aglomerante (cimento+ CCA): agregado]. Foram usados dois tipos de cinzas: a natural, coletada na indústria (CCAn), e a cinza produzida em laboratório (CCAp); ambas, peneiradas e moídas em laboratório. Um dos objetivos específicos da pesquisa foi comparar o desempenho mecânico dos tijolos associando-o ao tipo de CCA e sua quantidade em substituição do cimento Portland.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na cadeia produtiva da construção civil, a indústria do cimento é responsável por grande consumo de materiais e energia e geração de resíduos; emite cerca de 900 kg CO₂/tonelada de cimento produzido (MEHTA & MONTEIRO, 2008). Da mesma forma, estimativas indicam que o setor das indústrias de cerâmica vermelha consumiu, em 2009, 3.500 GWh de energia; 152 milhões de toneladas de argila; emitiram 185 kg de CO₂/tonelada de material produzido e geraram entre 4,5 e 6,7 milhões de toneladas de resíduos nos processos de produção (MME,2010).

Resíduos sólidos de atividades agroindustriais, classificados pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) como resíduos agrossilvopastoris, também inspiram preocupações diante do volume e da forma como são descartados. Dafico et al. (2003) afirmam que a Casca de Arroz (CA) quando incinerada gera aproximadamente 20% de Cinza de Casca de Arroz (CCA).

A preocupação com o esgotamento de recursos naturais, gastos de energia, emissões de gases, geração de resíduos tem movido muitos pesquisadores na busca de novos

materiais utilizando resíduos, inclusive os de Cerâmica Vermelha (RCV). Baldo; Costa; Martins; Sordi (2004) pesquisaram concretos não estruturais usando agregados reciclados da indústria de cerâmica vermelha; Dias (2004) avaliou resíduos de telhas cerâmicas para camadas de pavimentos. São apenas alguns exemplos de pesquisas existentes sobre o uso de RCV, no Brasil.

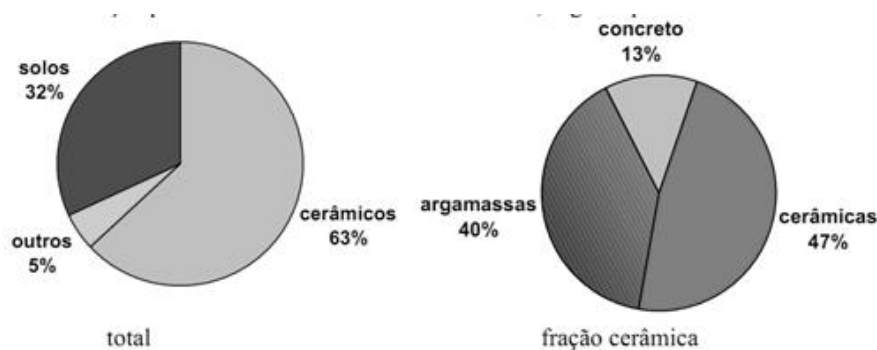
Existem no país muitas pesquisas visando o aproveitamento da CCA na construção civil. Pouey (2006); Cordeiro (2009); Tashimaet (2012); Bezerra (2010) têm suas pesquisas voltadas para o uso das propriedades pozolânicas da CCA para aplicação na fabricação de cimentos, concretos e argamassas.

Segundo Isaia (2007), a preocupação ambiental tem contribuído para o desenvolvimento de materiais alternativos, como os compósitos com fibras vegetais, que são a união de dois ou mais materiais com o objetivo de se obterem propriedades especiais não apresentadas isoladamente pelos seus componentes por meio da utilização de métodos convencionais.

GERAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS

Segundo Miranda (2005), os materiais cerâmicos provenientes de alvenarias podem representar uma fração importante do volume total de RCD, demonstrando que nas usinas de Socorro/SP e São Bernardo do Campo/SP eles são a maioria. Agopyan & John (2000) demonstram que a fração cerâmica (telhas, tijolos e outros) prevalece dentre a porção dos “cerâmicos” (rochas naturais, concreto, argamassas, cerâmica vermelha e branca e outros) da composição geral dos RCD, Figura1.

Figura 1. Composição média dos entulhos depositados no aterro de Itatinga, São Paulo



Fonte: Agopyan & John (2000)

Visando estimar a geração de resíduos de cerâmica vermelha nos processos de fabricação, foi aplicado um questionário a vinte e três indústrias cerâmicas da grande Cuiabá, das quais, 5 responderam sobre o tipo de artefato fabricado, volume de produção, perdas e destinação dos rejeitos (peças descartadas por defeitos), entre outros pontos. A Tabela 1 resume alguns dados que ajudam aferir a geração de resíduos de cerâmica vermelha no processo produtivo dessas indústrias.

Tabela 1 - Produção e perdas em 5 indústrias da grande Cuiabá

	Indústrias/produção mensal					Total mensal (un)
	A	B	C	D	E	
Produção (unidades)	1.900.000 ¹	600.000 ²	500.000 ²	1.300.000 ³	750.000 ⁴	5.050.000
Perda(%)	10	2	3	3 a 5	2,5	4,3%(média)

¹ tijolos furados, elementos vazados, blocos

² tijolos furados

³ tijolos furados e blocos estruturais

⁴ telhas cerâmicas

Os dados compilados dos questionários apontam a média de 434 toneladas/mês de resíduos nos processos de produção e que são utilizados para o aterramento no entorno das mesmas. Como existem 23 indústrias cerâmicas na grande Cuiabá, fabricando principalmente tijolos e blocos cerâmicos de 8 furos, depreende-se que o volume de resíduos é muito mais expressivo. Por isso, a iniciativa de usar resíduos cerâmicos na fabricação de um tijolo prensado, proposto nesta pesquisa, mitigaria danos ambientais como os da região de Carrapicho, em Várzea Grande/ MT, causados pela extração de argilas das indústrias cerâmicas locais, Figura 2.

Figura 2 - Área (12 Hectares) degradada pela retirada de argila sendo reaterrada em Várzea Grande/MT



Fonte: Barros (2011).

USO DE AGREGADO RECICLADO DE CERÂMICA VERMELHA PARA CONCRETO/ARGAMASSA

Segundo Miranda (2005), existe muito preconceito ao uso de agregado reciclado pela sociedade brasileira, principalmente quando proveniente de resíduo de cerâmica vermelha. Cita o exemplo de uma usina de reciclagem de São Bernardo do Campo que foi obrigada a classificar visualmente o RCD, devido ao fato de que a clientela só aceitava o RCD reciclado proveniente de concretos britados. Para Levy & Helene (2000), há evidências da redução de 20 a 30% na resistência mecânica de concreto feito com agregados de alvenaria, porém, conforme os autores, sempre há possibilidades de confecção de concreto utilizando Agregado Reciclado de Cerâmica Vermelha (ARCV) para emprego que não seja de uso estrutural.

Costa (2006) constatou que a substituição da areia de rio em argamassa para revestimento, por resíduos reciclados de cerâmica tradicional, é plenamente viável. Pinto (1999), em estudos realizados com argamassas, concluiu que quando feitas com RCD reciclado apresentaram maiores resistências à compressão em todos os casos e que argamassas com cerâmicos são mais resistentes que as demais.

PRODUÇÃO MUNDIAL/NACIONAL/COMPOSIÇÃO QUÍMICA E O POTENCIAL ENERGÉTICO DA CASCA DE ARROZ (CA)

O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais, com uma produção estimada, para a safra 2011/2012, de 12,71 milhões de toneladas. No país, o Rio Grande do Sul, com uma safra estimada em 8,283 milhões de toneladas, ocupa a condição de líder na produção nacional, seguido pelo estado de Santa Catarina, com safra estimada de 1,063 milhões de toneladas. Mato Grosso ocupa a terceira colocação, com uma produção estimada, para a safra 2011/2012, em 706,5 mil toneladas do cereal.

A composição química média em base anidra da casca de arroz corresponde a aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica. A celulose e lignina podem ser removidas por combustão controlada, deixando para trás a sílica numa forma vítrea e microporosa, de altíssima superfície específica (MEHTA & PITT, 1977, apud. DAFICO, 2003).

Segundo o Balanço Energético Nacional - COMPET-PETROBRÁS/1999, o valor calórico do petróleo é de 10.000 Kcal/Kg, enquanto a biomassa base seca apresenta um valor calórico de 4.000 Kcal/Kg. Dentre os principais combustíveis que são utilizados para a produção de energia, a CA apresenta um Poder Calorífico Inferior (PDI) de 3.300Kcal/Kg, e que representa 33% da capacidade térmica do petróleo.

GERAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA)/POZOLANAS NATURAIS E ARTIFICIAIS

A queima da Casca de Arroz para a geração de energia nas usinas termoeletricas ou nas beneficiadoras de arroz para geração de calor nos processos de parboilização produz cerca de 20% de CCA da quantidade de casca queimada (TASHIMA, 2006).

A CCA apresenta características pozolânicas, ou seja, isoladamente, a CCA não tem valor aglomerante, mas, quando finamente moídas e em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e formam compostos cimentantes (DAFICO, 2003).

Pozolanas naturais são materiais derivados de rochas ou minerais vulcânicos que depois de passados por processos de britagem, moagem e classificação, são ativados termicamente, para a retirada de impurezas que diminuem a atividade pozolânica. Exemplos desses materiais são os tufos vulcânicos, terras diatomáceas e argilas calcinadas.

Vários autores definem pozolanas artificiais como resíduos ou subprodutos agroindustriais de várias origens e possuindo diversas características, em comum a atividade pozolânica. Na construção civil, as pozolanas artificiais mais empregadas são: as cinzas volantes, procedentes das usinas termoeletricas; as escórias de alto forno; e a sílica ativa, resíduo oriundo da siderurgia do silício metálico e ligas à base de silício. Existem, porém, inúmeras aplicações de outros resíduos, tais como: bagaço da cana-de-açúcar e Cinza de Casca de Arroz.

A CCA contém carbono e, por essa razão, tende a ser preta, mas, conforme Dafico (2006), pode ser também cinza, púrpura ou branca, dependendo das impurezas presentes e das condições de queima. Segundo ele, há muitas pesquisas que buscam produzir CCA de cor clara e, mesmo assim, continuam tendo boa reatividade. Portanto, alguns fatores são necessários para obtenção dessa *superpozolana*: efeitos das temperaturas de queima e moagem da CCA.

EFEITOS DAS TEMPERATURAS/MOAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DA CCA

Conforme Santos (2006), a reatividade do material vai depender da formação durante o processo de queima, em função de diferentes temperaturas, de proporções relativas de sílica na forma cristalina ou amorfa; quanto maior esta última, maior a reatividade.

Cordeiro (2009) promoveu levantamento sobre pesquisas, existentes no mundo científico, a respeito de questões como: condições ideais de temperatura e tempo de residência no processo de combustão da CCA e concluiu que não há um consenso acerca da temperatura ideal para a obtenção da sílica no estado amorfo. Há, no entanto, a temperatura média, em torno de 700°C.

A moagem consiste na cominuição das partículas de CCA, visando conferir-lhes maior superfície específica, o que reflete significativamente na pozolanicidade do material (CORDEIRO, 2009). Existem diversos equipamentos que podem ser utilizados para essa finalidade, dentre os quais estão o moinho de bolas horizontal e vertical, moinho de disco, o agitador, o planetário e micronizador.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais, as etapas, os ensaios, os equipamentos e a metodologia para se atingir os objetivos da pesquisa foram desenvolvidos nos Laboratórios do Departamento de Área de Construção Civil (DACC) do IFMT e estão descritos na Tabela 2. Ensaios realizados em outros locais estão referidos no texto.

Tabela 2 - Resumo dos ensaios e metodologia adotada na pesquisa

Material	Etapa		Ensaio	Método/Equipamento
Agregados Recicladados de Telha Cerâmica (ARTC)	Produção		Britagem	Britador de mandíbula
			Moagem	Moinho de bola
			Peneiramento	Conjunto de peneiras
	Caracterização	Física	Massa Específica	NBR NM 23/2000
			Granulometria	NBR NM 248/2000
		Química	IAPC ¹	NBR 5752/1992
			RAA ²	NBR 1577/2008
Cinza da	Produção		Calcinação	Fornalha / Forno Mufla

Casca de Arroz (CCA)			Moagem	Moinho de Disco
			Peneiramento	Manual (#75)
	Caracterização da CCA produzida e CCA da Indústria	Física	Massa Específica	NBR NM 23/2000
			Granulometria	Conjunto de peneira e agitadormecânico
		Química	IAPC ¹	NBR 5752/1992
			RAA ²	NBR 1577/2008
			EDX	Espectrômetro EDX-700HS
		Mineralógica	DRX	Difratômetro de raio x
Tijolos= (ARTC + cimento+ CCA)	Definição dos traços Moldagem dos tijolos		Empacotamento Prensagem	NBR NM 45 Prensa hidráulica

¹Índice de Atividade Pozolânica com o Cimento

²Reatividade Álcali-Agregado

MATERIAIS

CIMENTO PORTLAND CP II-F

Utilizou-se o cimento Portland do tipo CP II-F, classificado como uma linha intermediária entre os cimentos Portland comuns e os cimentos Portland com adições (alto-forno e pozolânicos). Esse tipo de cimento caracteriza-se por possuir de 6 a 10% em massa de material carbonático, que são rochas moídas que apresentam carbonato de cálcio em sua constituição. Este tipo de adição, conhecido como *fíler calcário*, funciona como um verdadeiro *lubrificante*, pois tornam concretos e as argamassas mais trabalháveis (ABCP, 2012).

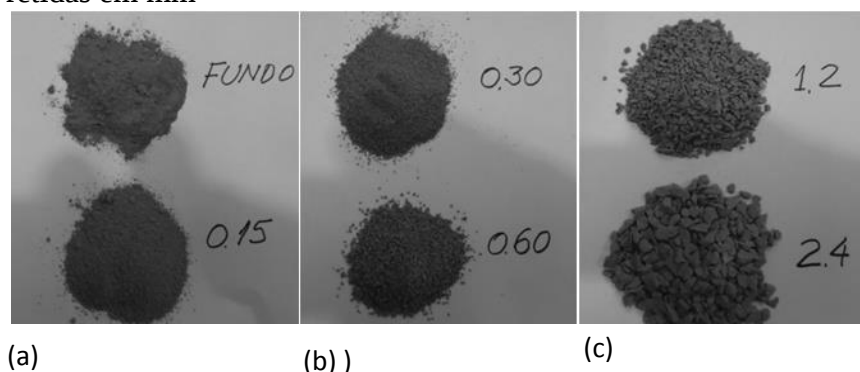
ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água de amassamento utilizada no experimento foi a fornecida pela CAB - Companhia de Abastecimento de Cuiabá/MT.

AGREGADO RECICLADO DE TELHA CERÂMICA (ARTC)

Utilizou-se Agregados Reciclados de Telha Cerâmica (ARTC) que foram produzidos a partir da britagem de Telhas Cerâmicas nas granulometrias, denominadas de: (a) pós (0,15 mm e fundo); (b) Areia (0,6 e 0,3 mm); (c) Pedrisco (2,4 e 1,2 mm), conforme ilustração na Figura 3.

Figura 3 - Granulometrias de ARTC utilizadas na pesquisa, frações retidas em mm



CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA)

A casca e a CCA foram fornecidas por uma indústria beneficiadora de arroz instalada no Distrito Industrial de Cuiabá, localizado na região sul da capital mato-grossense. Refina, atualmente, cerca de 2.500 toneladas/mês de arroz (safra 2012) procedente da região norte do estado de Mato Grosso. Gera 500 toneladas/mês de Casca de Arroz (CA), que é utilizada na produção de calor nos processos de parboilização do grão. Estima-se que nesse procedimento são gerados 100 toneladas/mês de CCA.

A fim de comparar a propriedade pozolânica da cinza coletada na indústria (CCAn), produziu-se também cinza em laboratório (CCAp), sob condições de temperatura controlada de queima.

MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA/FÍSICA DO CIMENTO PORTLAND

Para determinar os óxidos presentes (SiO_2 , Al_2O_3 , F_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Ti_2O) no cimento Portland CP-II-F-32, utilizou-se a técnica de fluorescência de raio X, por dispersão de energia (EDX), através de um espectrômetro modelo EDX-700HS, da Shimadzu. As análises foram realizadas no Laboratório de Multiusuários de Técnicas Analíticas (LAMUTA) do Departamento de Recursos Minerais (DRM) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Para a caracterização física do cimento Portland foi elaborado apenas o ensaio de massa específica utilizando o método do frasco volumétrico de Le Chatelier, normatizado pela NBR NM 23:2001 (ABNT, 2001), Figura 4.

Figura 4 - (a) Espectrômetro (LAMUTA, DRM/UFMT); (b) Frasco volumétrico de Le Chatelier



PRODUÇÃO DO AGREGADO RECICLADO DE TELHA CERÂMICA (ARTC)

Para a produção do ARTC foram utilizados um britador de mandíbula, um moinho de bolas e um conjunto de peneiras, ilustrados na Figura 5.

Figura 5 - Equipamentos para o processamento dos agregados; (a) britador de mandíbula; (b) moinho de bolas; (c) conjunto de peneiras



CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS ARTC

MASSA ESPECÍFICA/ ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM A CAL (IAP)/REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)/ ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO ARTC

Para a determinação das massas específicas das 3 faixas granulometrias dos ARTC (2,4 e 1,2 mm; 0,6 e 0,3 e 0,15 mm e fundo) foram utilizados os métodos do Frasco Chapman, normatizado pela NBR NM 52:2009 (ABNT, 2009) e o do Frasco de Le Chatelier, normatizado pela NBR NM 23:2001 (ABNT, 2001).

Utilizou-se o ensaio (IAP), baseado na NBR 5751 (ABNT, 1992), para verificar se partículas finas do ARTC desenvolvem atividade pozolânica na presença de componentes de cal.

A Reação Álcali-Agregado, comumente conhecida pela sigla RAA, é uma reação química entre alguns constituintes presentes em certos tipos de agregados e componentes alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. Quando ocorrem, provocam fissurações em componentes construtivos como concreto, expondo as armaduras a processos de oxidação. Tais características foram avaliadas por meio do método acelerado de determinação da expansão em barras de argamassas, segundo a NBR 15577-4: 2008 (ABNT, 2008).

O ensaio de absorção foi realizado baseado na NBR NM 30/2001 (ABNT, 2001). Consiste em determinar a absorção de água de agregados miúdos na condição saturados superfícies seca, que é observada quando os agregados cujas partículas absorveram o máximo de água, apresentando ainda a superfície seca.

PRODUÇÃO DAS CCA NA INDÚSTRIA E EM LABORATÓRIO/PENEIRAMENTO E MOAGEM

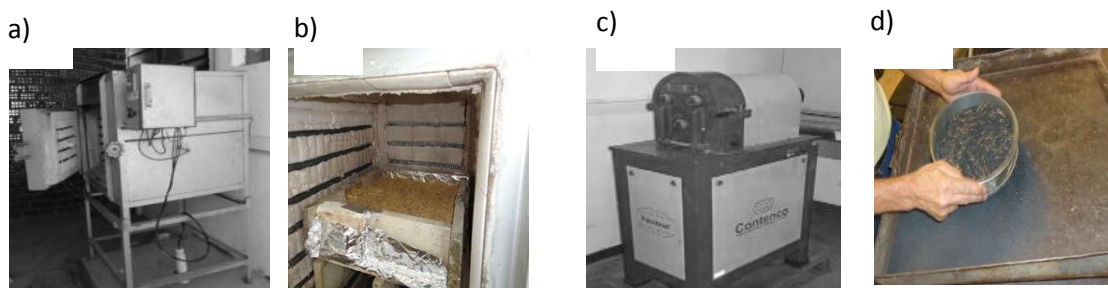
A indústria, fornecedora da Casca de Arroz e da CCA, mantém, para o processo de parboilização do arroz, um sistema composto de fornalha, caldeira, filtros e reservatórios, elevado e enterrado, para captação da CCA.

Para a produção da CCAp em laboratório foi utilizado um forno mufla, marca Pelegrine 230/380 V, e aquecimento elétrico e temperatura máxima de 1200°C. Tendo

em vista a quantidade de CCA a se obter, bem como a característica do interior do forno que contém resistências nas paredes laterais e na base, realizou-se a queima numa caixa, adaptada no interior do forno de tal forma que não prejudicasse o funcionamento das resistências instaladas na sua base. A quantidade de casca de arroz disposta na caixa foi em média de 1 kg/queima, distribuída numa camada de aproximadamente 9 cm de espessura. Foram feitas várias queimas até reunir uma massa de 5 kg de CCA aproximadamente.

A CCA_n , fornecida pela indústria, e a CCA_p , produzida em laboratório, foram peneiradas manualmente na peneira 1,2 mm, para a retirada de resíduos e cascas que não foram devidamente queimadas. Após, foram moídas num moinho de disco e peneiradas na peneira 0,075 mm, Figura 6.

Figura 6 - a) forno; b) caixa adaptada no interior do forno; c) moinho de disco; d) peneiramento manual das CCA



CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA DAS CCA

MASSA ESPECÍFICA/DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA/ANÁLISE QUÍMICA/ANÁLISE MINERALÓGICA/ANÁLISE TÉRMICA

As massas específicas dos 2 tipos de CCA foram determinadas pelo ensaio com frasco de Le Chatelier.

Visando estimar a massa de material fino (passante na peneira 0.075 mm) presente na Cinza de Casca de Arroz natural (CCA_n) e da produzida em laboratório (CCA_p), procedeu-se o ensaio para determinar as granulometrias, a fim de compará-las. A intenção desses ensaios é demonstrar que mesmo as CCA_n contêm parcela expressiva de material fino que possa agir fisicamente através do chamado efeito “filler” na mistura. Para esse procedimento foi utilizado um conjunto de peneiras colocado num agitador mecânico, por cerca de 15 minutos.

A análise para determinar a composição química das CCA foi realizada pela técnica de fluorescência de raio X, por dispersão de energia (EDX), através de um espectrômetro modelo EDX-700HS, da Shimadzu.

A análise mineralógica é para determinar quanto uma amostra é amorfa ou cristalina. As análises de difração de raios-X foram realizadas em equipamento Shimadzu XRD-6000.

A análise térmica foi realizada objetivando a verificação do comportamento térmico (estabilidade e decomposição), ou seja, as faixas de temperaturas em que ocorrem as transformações endotérmicas e exotérmicas das CCA. Os ensaios que determinam tal comportamento são as análises termogravimétricas (TG) e as térmicas diferenciais (DTA). Foram realizados em uma termobalança Shimadzu DTG 60H.

FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS

EMPACOTAMENTO EXPERIMENTAL DOS ARTC

Para a definição dos traços para a moldagem dos tijolos foi necessário realizar o empacotamento experimental dos agregados, que consiste em encontrar a maior massa unitária compactada e um menor índice de vazios em composições de ARTC preestabelecidas, segundo o que estabelece a NBR NM 45:2006 (NBR, 2006).

Foram utilizados sete tipos de composições entre as três faixas granulométricas dos ARTC: Pós (0,15 mm e fundo); Areia (0,6 e 0,3 mm) e Pedrisco (2,4 e 1,2mm), conforme a Tabela 4

Tabela 4 - Composição dos ARTC no empacotamento experimental, com adaptação de Costa (2006)

Pós (fundo+0,15mm) %	Areia (0,3+0,6mm) %	Pedrisco (1.2+2,4mm) %
10	25	65
15	30	55
20	30	50
25	35	40
15	25	60
10	20	70
15	65	20

DEFINIÇÃO DO TRAÇO PARA MOLDAGEM DOS TIJOLOS

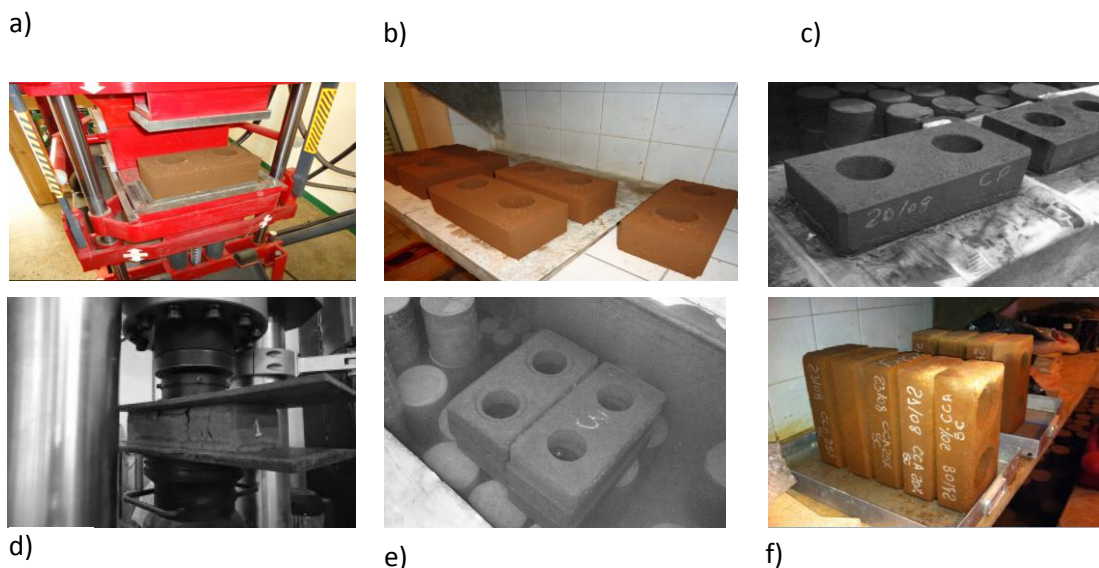
Apesar de guardar — pela conformidade da forma, dimensões e texturas — certa similaridade com tijolos de solo-cimento, a opção adotada foi a de tratar o tijolo prensado desta pesquisa como blocos vazados de concreto simples para alvenaria, normatizado pela NBR 6136:2007 (ABNT, 2007). A justificativa se deve em razão do uso de agregados, embora reciclado, na sua composição.

O traço utilizado foi o 1:9 [aglomerante (cimento+ CCA): agregado], considerado econômico. O percentual de CCA, em substituição parcial do cimento na mistura, foi de 20, 25 e 30% para os dois tipos de cinza (CCAn e CCAp).

PRENSAGEM DA MISTURA/ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO POR IMERSÃO E CAPILARIDADE

A mistura foi realizada manualmente e introduzida em uma prensa hidráulica para a moldagem dos tijolos. Ato seguinte, após moldados, os tijolos foram colocados em uma câmara úmida, cobertos e molhados diariamente, até a realização dos ensaios de resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias, como também os ensaios de absorção de água por imersão e por capilaridade, conforme ilustração na Figura 7.

Figura 7 - a) prensa hidráulica; b) tijolos na câmara úmida; c) capeamento; d) rompimento; e) ensaio de absorção por imersão; f) ensaio de absorção por capilaridade



RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS ARTC

A caracterização física e química dos ARTC como massa específica, Índice de Atividade Pozolânica (IAP) com a cal; ensaios de absorção de água pelo ARTC; e Reatividade potencial do ARTC (RAA) são mostrados na sequência de Tabelas e Figuras, abaixo.

Tabela 5 - Massa específica dos ARTC

Faixas granulométricas dos ARTC	Massa específica (δ) g/cm ³	Ensaio	Norma
Pós (fundo e 0,15mm)	2,35	Frasco Le Chatelier	NBR NM 23:2000
Areia (0,3 e 0,6 mm)	2,32	Frasco Chapman	NBR NM 52:2009
Pedrisco (1,2 e 2,4mm)	2,42	Frasco Le Chatelier	NBR NM 23:2000

Para que a fração fina do ARTC seja considerada pozolânica, depreende-se, pela Tabela 6, que nenhum CP atingiu a resistência de 6 MPa exigida pela NBR 12653:92 (ABNT, 1992), ainda: o Desvio Relativo (DR) máximo ultrapassou o valor de 6% estabelecido na norma, que para esses casos recomenda a repetição do ensaio.

Tabela 6 - Resultados da resistência à compressão nos ensaios de IAP

MATERIAL	CP1(MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	DR (máx) %
CV	3,1	2,9	3,2	3,1	6,4

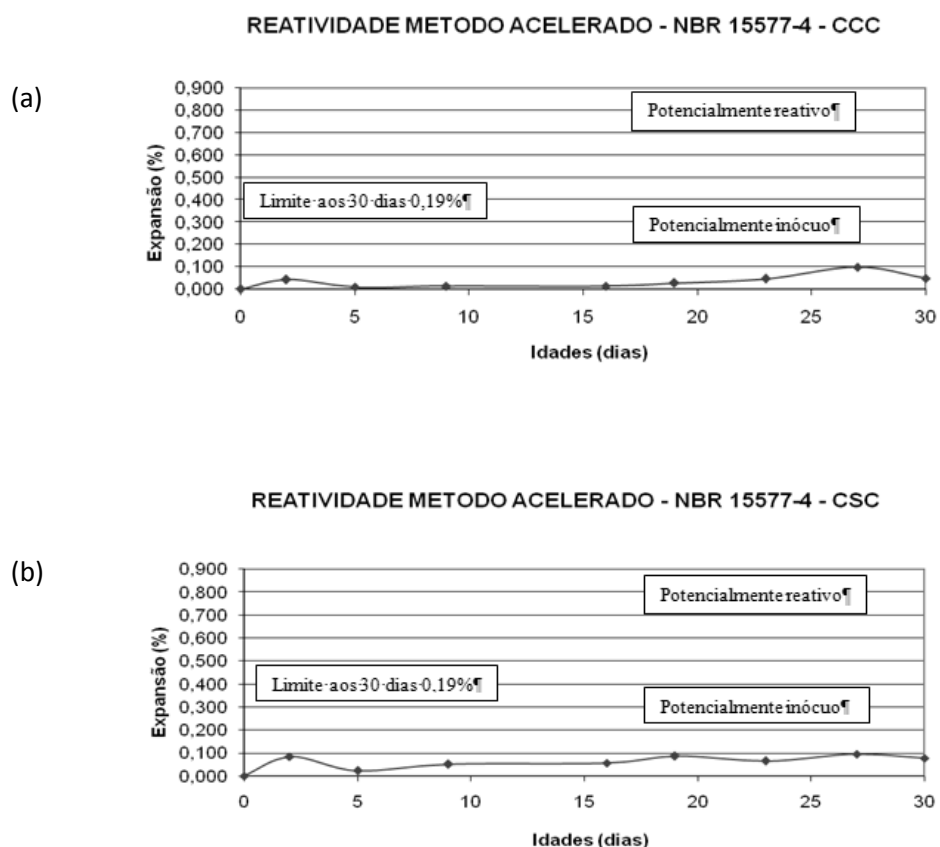
No ensaio para verificar a absorção de água pelo ARTC, a primeira amostra contendo 25% de pós apresentou uma taxa de absorção de 12%, bem superior que a da segunda amostra (7%), realizada sem a presença do material fino. Comparando esse resultado com os de Santana & Costa (2009), que encontraram uma taxa de absorção de 11,79% com agregado miúdo de cerâmica vermelha, constata-se que a diferença se deve à presença dos finos na composição, Tabela 7.

Tabela 7 - Absorção de água pelos ARTC

Amostras/ composição/massa (g)	Taxa de absorção (%)
1ª amostra / 25:35:40 (pós: areia: pedrisco)/250g; 350g; 400g	12
2ª amostra/ 44:56 (areia: pedrisco)/ 440g; 560g	7

Nos ensaios para verificar a reatividade dos ARTC pode-se observar que a mistura do cimento Portland CP II- 32F com o Agregado Reciclado de Telha Cerâmica, em uma proporção de cinza da casca de arroz com controle de temperatura (CCAp) e sem controle de temperatura (CCAn), é potencialmente inócuo, Figura 8

Figura 8 - Gráficos da reatividade potencial do cimento CP II- 32F, ARTC com (a) CCAp – (b) CCAn



PRODUÇÃO DA CCA EM LABORATÓRIO

As queimas da casca de arroz foram realizadas em duas etapas. Na primeira etapa (até 400°C), ocorre a ignição da massa da casca de arroz e percebe-se a perda de massa,

mas a CCA mantém uma granulometria próxima da casca antes da queima e com a cor muito escura, justificada pela presença do carbono. Na etapa seguinte, com a elevação da temperatura (600° C), ocorre a queima do carbono residual, diminuindo ainda mais a massa e resultando num material mais claro e mais fino, conforme afirma Sugita (1992), Figura 8.

Figura 9 - (a) primeira etapa - até 400°C; (b) segunda etapa - de 400 a 600° C



CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA, MINERALÓGICA DAS CCA

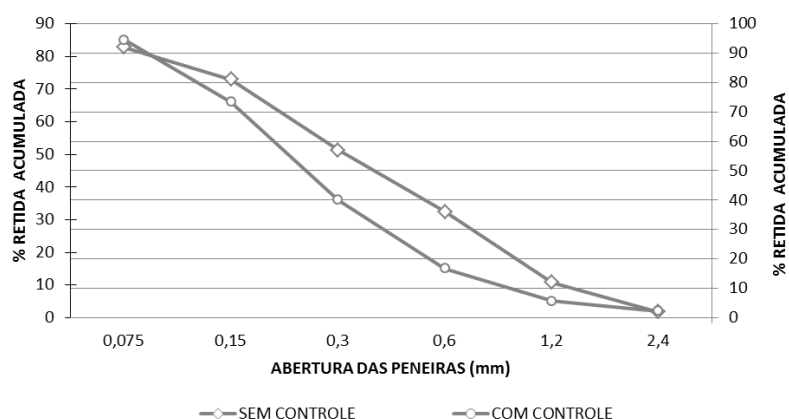
Os ensaios realizados pelo método do frasco de Le Chatelier apresentaram os resultados constantes da Tabela 8.

Tabela 8 - Massa específica das CCA

Cinza de Casca de Arroz (CCA) (NBR NM 23:2000)	Massa específica (δ) g/cm ³
CCA n	1,91
CCA p	2,00

A realização do ensaio para determinar a granulometria das CCA_n e CCA_p foi com a intenção de demonstrar que mesmo a cinza natural coletada na indústria possui parcela expressiva de material fino na sua composição granulométrica. O ensaio é baseado na NBR NM 248 (ABNT, 2003), Figura 9.

Figura 10 - Curva granulométrica das CCAn (sem controle de temperatura) e da CCAP (com controle)



Pela NBR 12653:1992 (ABNT, 1992), para que um material seja considerado pozolânico, os elementos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ devem estar presentes em mais de 70% para as Classes N e C e 50% na Classe E. Explicita, ainda, que o teor máximo de trióxido de enxofre (SO_3) deve estar abaixo de 4% para a Classe E e 5% para as Classes C e E. Conforme é verificado, as CCA analisadas satisfazem as exigências químicas da norma, Tabela 9.

Tabela 9 - Composição química das CCAP e CCAn (LAMUTA, DRM/UFMT)

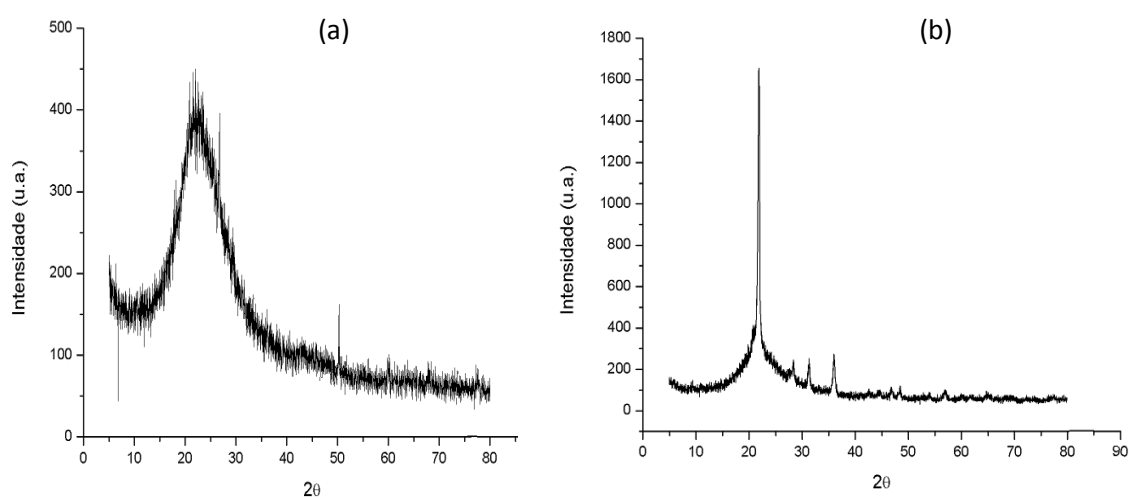
Composição química das CCA		CCAP (%)	CCAn (%)
Dióxido de silício	(SiO_2)	86,600	88,093
Óxido de potássio	(K_2O)	3,383	2,777
Óxido de fósforo	(P_2O_5)	2,667	2,949
Óxido de cálcio	(CaO)	2,103	1,850
Óxido de alumínio	(Al_2O_3)	1,727	2,020
Trióxido de enxofre	(SO_3)	1,223	0,283
Óxido de magnésio	(MgO)	1,158	0,935
Óxido de ferro	(Fe_2O_3)	0,795	0,759
Óxido de manganês	(MnO)	0,279	0,251
Óxido de zinco	(ZnO)	0,033	0,030
Óxido de cobre	(CuO)	0,021	0,023
Óxido de rubídio	(RbO)	0,012	0,011
Óxido de estrôncio	(SrO)	-	0,009
Perda ao fogo		0,04	Não determinado

As análises de difratometrias de raio x realizadas com a cinza produzida em laboratório (CCAP) revelam que ela exibe o comportamento de um material amorfo,

apresentando uma banda correspondente a material amorfo, obtida a 21° , por Della et al. (2001) apud Bezerra (2010), Figura 10.

Em relação ao gráfico da CCAn constata-se a nítida verificação da transformação das fases, observada também por Cordeiro (2009), em CCA produzida com 800°C . A pesquisadora na análise de cinza incinerada nessa temperatura observou a redução do halo amorfo e a formação de pico de cristobalita, que vai se tornando mais definido à medida que a temperatura aumenta, Figura 10.

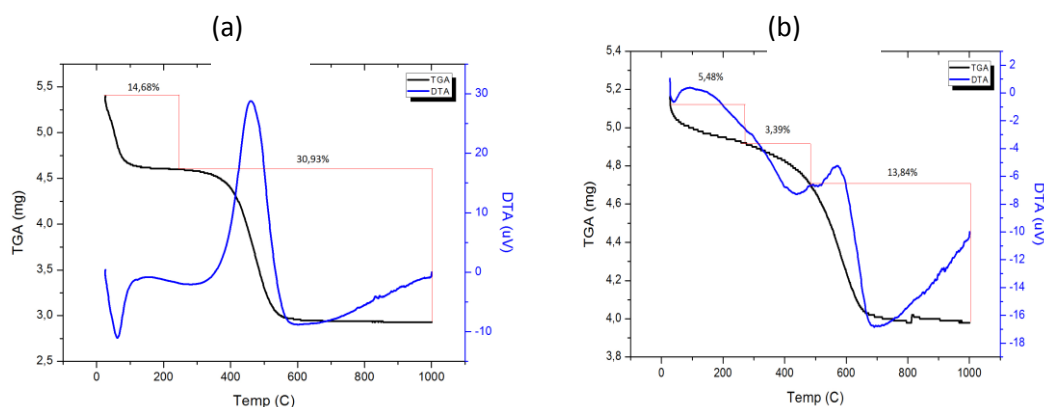
Figura 11 - Difratoograma de raio X – a) da CCAp - b) da CCAn (LAMUTA, DRM/UFMT)



Observa-se que na curva da análise termogravimétrica (TGA) da CCAp, entre 50°C e 100°C tem-se uma perda acentuada de massa de 14.68%, provavelmente decorrente da eliminação da água adsorvida superficialmente. Aproximadamente em torno de 70°C aparece um pico endotérmico na curva de análise térmica diferencial (DTA), também devido à perda de água adsorvida, etapa que se completa por volta de 100°C , Figura 11.

Em relação à CCCn, observa-se uma perda total de massa de 22,71% entre 50°C e 650°C na curva da análise termogravimétrica (TGA), devido à eliminação de água de constituição, materiais voláteis e combustão de carbono. Na análise da curva térmica diferencial (DTA), em torno de 70°C aparece um pico endotérmico, que acusa uma mudança de fase também observada por Weber (2001) e Pouey (2006), devido à perda de água adsorvida superficial, etapa que se completa por volta de 100°C , Figura 11.

Figura 12 - Análises térmica diferencial e termogravimétrica; a) CCAP – b) CCAn

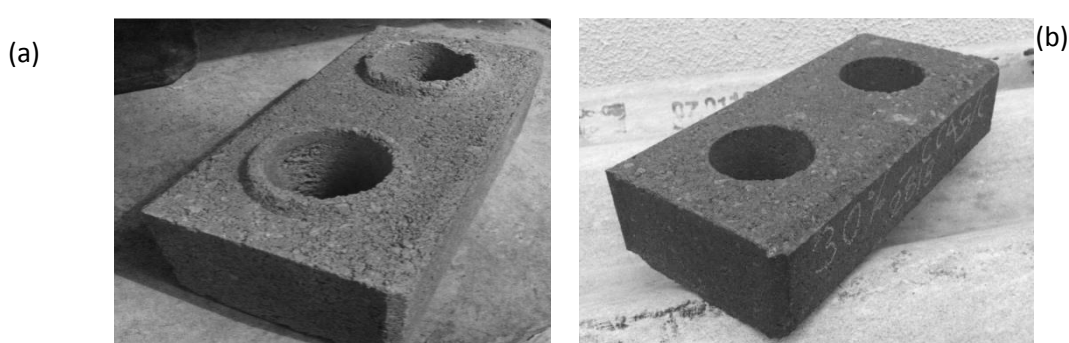


FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS/EMPACOTAMENTO TEÓRICO (O'REILLY DÍAZ, 2005)

A composição que apresentou a maior massa específica foi aquela que contém 10%: 20%: 70% (pós: areia: pedrisco) e o tijolo resultante apresentou uma textura mais áspera devido ao alto percentual da fração pedrisco na mistura, Figura 12.

A que apresentou o menor índice de vazios foi a 25%: 35%: 40% (pós, areia, pedrisco) e o tijolo resultante apresentou uma textura mais fina, devido ao aumento de agregados finos na composição, Figura 12.

Figura 13 - Tijolos moldados: a) com a composição 10:20:70 (textura áspera); b) 25:35:40 (textura fina)



ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ADOTADA NA PESQUISA

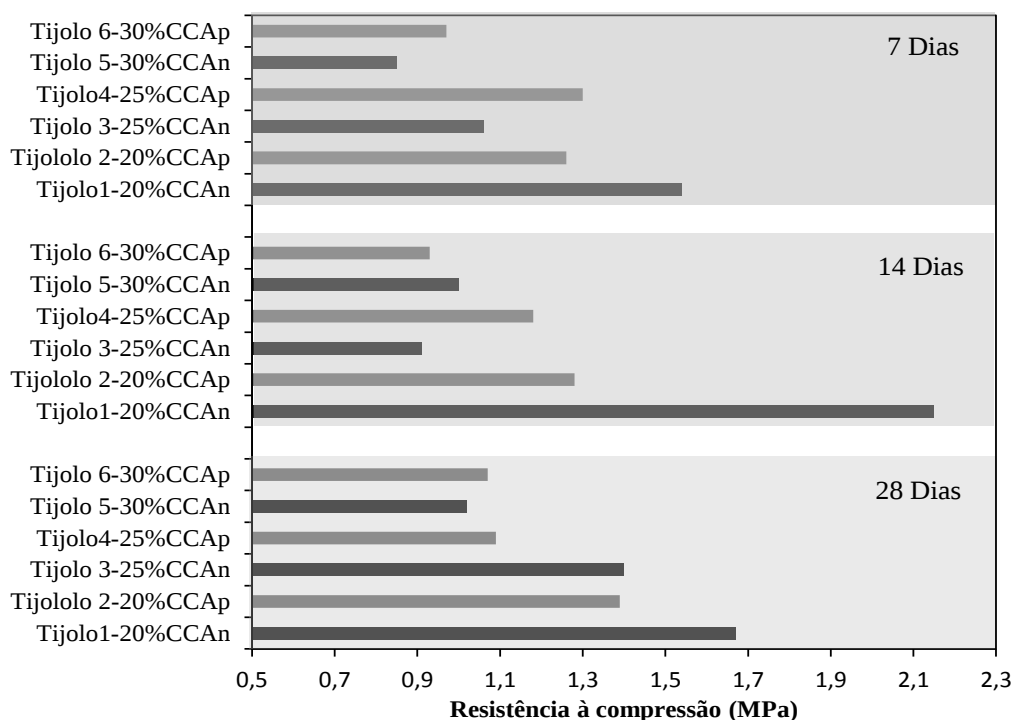
Os ensaios de resistência à compressão foram realizados segundo os métodos de ensaios e requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria,

estabelecidos respectivamente pela NBR 12118:2010 (ABNT, 2010) e NBR 6136:2007 (ABNT, 2007). Para a pesquisa, foram moldados 18 tijolos para cada tipo de amostra pesquisada: tijolo referência; tijolos com CCAn e CCAP substituindo, em 20%, 25% e 30%, o cimento Portland CP II- 32- F no traço 1;9 [aglomerante (cimento + CCA): agregado]. Os rompimentos dos tijolos aconteceram nas idades de 7, 14 e 28 dias.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS MOLDADOS COM CCAN E CCAP, EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND CP II-F-32 EM 20, 25 E 30%

A queima da casca de arroz realizada no laboratório do DACC- Campus Cuiabá, para a produção de CCAP, foi executada dentro do método de queima em dois tempos, sugerida por Sugita (1992), portanto com temperatura controlada e teoricamente de melhor qualidade que a CCAn fornecida pela indústria sem controle na temperatura de queima. A fim de investigar se o tipo de CCA influenciou nos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos tijolos, foi organizado o gráfico da Figura 14.

Figura 14 - Comparação das resistências dos tijolos com as CCAn e CCAP nos percentuais e idade dos ensaios.



DISCUSSÃO DO RESULTADO

Na análise dos resultados da Figura 14, fica evidenciado que o tijolo 1, com adição de 20% de CCAn, teve desempenho melhor que o tijolo 2, que teve adição de 20% de CCAp, nas 3 idades dos ensaios, portanto, contrariando a expectativa estabelecida na literatura. Aos 14 dias o tijolo 1 teve um desempenho 60% maior que o tijolo 2.

Na composição com 25% de CCA, o tijolo 4, com adição de CCAp, apresentou nas idades de 7 e 14 dias desempenho mecânico melhor que o tijolo 3, com adição de CCAn na mesma idade. Entretanto, aos 28 dias, o tijolo 3 apontou uma resistência maior que o tijolo 4. Quando a composição é com 30 % de adição de CCA, o comportamento mecânico dos tijolos 5 (CCAn) e 6 (CCAp) tem pouca variação, observando um declínio de ambos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão em relação a este quesito é que o tipo de CCA utilizada não influenciou no desempenho mecânico dos tijolos. Fica evidente, porém, nesta análise que a adição de CCA (de qualquer tipo) nos percentuais estabelecidos para a pesquisa prejudicou o desempenho mecânico desses tijolos, quando comparado com o tijolo referência. Isso corrobora com a constatação de Prudêncio Jr et al. (2003), que estudando argamassas com diferentes teores de CCA, observaram que o melhor desempenho nos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias foi verificado com 15% de substituição parcial de cimento por CCA.

A opção pelo uso de dois tipos de Cinza de Casca de Arroz (CCA) se mostrou satisfatória, permitindo comparar desempenhos mecânicos dos tijolos produzidos com adições de cinzas naturais (CCAn) com os de tijolos moldados com adições de cinzas produzidas em laboratórios. Com isso foi possível concluir que as cinzas residuais, que hoje são descartadas pelas beneficiadoras de arroz, podem ter a utilidade, por exemplo, na produção de artefatos construtivos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *NBR 15577-4 - AGREGADOS- Reatividade álcali- agregado, Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado*. Rio de Janeiro, 2008.

_____. *NBR 5751- MATERIAIS POZOLÂNICOS- Determinação de atividade pozolânica – Índice de atividade pozolânica com a cal*. Rio de Janeiro, 1992.

_____. *NBR 6136 - BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR NM 23 - CIMENTO PORTLAND E OUTROS MATERIAIS EM PÓ – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 2001.

_____. *NBR NM 248 - AGREGADOS- Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR NM 30 - AGREGADO MIÚDO – Determinação da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2001.

_____. *NBR NM 45 - AGREGADOS – Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. *NBR 12653 - MATERIAIS POZOLÂNICOS*. Rio de Janeiro, 1992.

AGOPYAN, V. JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos da Construção. In: *Seminário de Resíduos Sólidos e domiciliares*, 2000, São Paulo. Resíduos Sólidos e Domiciliares. São Paulo: CETESB, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - *A versatilidade do cimento brasileiro*. ABCP, 2012. Disponível em: <http://www.abcp.com.br/conteudo/?p=166>: acesso em 14 de abril de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 2009.

BALDO, J.B.; COSTA, J.S., MARTINS, C.A., SORDI, V.L. Concretos não estruturais utilizando agregados obtidos na indústria de Cerâmica Vermelha. In: *Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Curitiba, 2004. 48º CBC. São Paulo: ABC, 2004. Ref. 19-06. p.1 CD-ROM.

BEZERRA, I. M. T. *Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento*. Dissertação (Mestrado) pela Universidade Federal de Campina Grande. PB. 2010.

BRASIL. *Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm . Acesso em 22/11/2011.

CORDEIRO, L. N. P. *Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica*. Dissertação (Mestrado) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

COSTA, J. S. *Agregados alternativos para argamassa e concreto produzidos a partir de reciclagem de rejeitos virgens da indústria de cerâmica tradicional*. Tese (Doutorado) pela Universidade Federal de São Carlos, SP, 2006.

DAFICO, D.A.; PRUDÊNCIO JR. L. R.; SANTOS, S. Cinza da casca de arroz. In: *Coletânea Habitare. Vol.4 - Utilização de resíduos na construção habitacional*. Ed. J.C. ROCHA e V.M.JOHN. Porto Alegre: ANTAC, 2003 - Coletânea Habitare.

DIAS, J.F. *Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimentos de baixo custo*. Tese (Doutorado) Escola Politécnica- Universidade de São Paulo, 2004.

FAVINI, A.C; COSTA, J. S. Avaliação do concreto produzido com rejeito de telha cerâmica vermelha. In: *53º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, 2009, Guarujá. 53º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2009.

ISAIA, G.C. A Ciência e a Engenharia de Materiais de Construção Civil. In: *MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*, ed. G.C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2007.v.1.p.01 a 36.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry in: *CIB Symposium on Construction & Environment Theory into practice*, novembro, In: *Symposium on Construction & Environment Theory into practice*, 2000, São Paulo- SP novembro. Symposium on Construction & Environment Theory into practice, 2000. p. 64-76.

MEHTA, P. K. & PITT, N.A new process of rice utilization. In: *International conference on the utilization of rice by- products*. Valencia, Spain, 1974. Proceedings. Valencia: IATA, published in 1977, p. 445-58.

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

MIRANDA, L. F. R. *Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil*. São Paulo, 2005. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana.

O'REILLY DÍAZ, V.A. *Método para dosificar hormigón de elevado desempenho*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Notas de aula, 2005.

PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

POUEY, M. T. F. *Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ ou pozolânico*. Tese (Doutorado) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

PRUDÊNCIO JR, L. R; DAFICO, D.A; SANTOS, S. Cinza da casca de arroz. In: Coletânea Habitare. Vol.4 - *Utilização de resíduos na construção habitacional*. Ed. J.C. ROCHA e V.M.JOHN. Porto Alegre: ANTAC, 2003- Coletânea Habitare.

SANTANA, C. S.; COSTA, J. Reaproveitamento de Rejeitos da Indústria de Cerâmica Vermelha e da Indústria da Construção Civil, Aplicando em Argamassas de Revestimento e Assentamento. In: *Congresso Brasileiro de Concreto*, 2008, Santos. 63º Congresso Anual da ABM, 2008.

SANTANA, C. S.; COSTA, J. Reaproveitamento de Rejeitos da Indústria de Cerâmica Vermelha e da Indústria da Construção Civil, Aplicando em Argamassas de Revestimento e Assentamento. In: *Congresso Brasileiro de Concreto*, 2008, Santos. 63º Congresso Anual da ABM, 2008.

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*. Tese (Doutorado) pela Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SUGITA, S.; SHOYA, M.; TOKUDA, H. (1992). Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash. In: *PROCEEDINGS FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE*, ISTANBUL- TURKEY, 1992. P. 495-512.

TASHIMA, M. M.; FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L.; BERNABEU, J. P.; SOUZA, L. C.; MELGES, J. L. P. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. In: *Ambient. Constr.* Vol. 12 no. 2, Porto Alegre abr./jun., 2012.

WEBER, Silvana Leonita. *Metodologia para obtenção de Sílica de Elevada Reatividade para Uso em Concreto de Alto Desempenho a Partir do Processamento de Cinza de Casca de Arroz*. Florianópolis, 2001. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.