

# Estudo das características químicas e físicas da cinza da casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios

Sofia Araujo Lima<sup>1\*</sup> e João Adriano Rossignolo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luís, km 235, SP 310, 13565-905, São Carlos, São Paulo, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Engenharia de Biosistemas, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: sofiaalima@yahoo.com.br.

**RESUMO.** As cinzas ocupam lugar de destaque dentre os resíduos agroindustriais por resultarem de processos de geração de energia. Sabe-se que muitas dessas cinzas possuem reatividade pozolânica, podendo ser utilizadas como adição mineral em matrizes de cimento Portland. O presente estudo tem como objetivo investigar as características físicas e químicas da cinza da casca da castanha de caju (CCCC), por meio dos seguintes ensaios: análise química, massa unitária, massa específica, extratos lixiviado e solubilizado, difratometria de raios X (DrX), superfície específica (BET) e análise da pozolanicidade com o cimento Portland e com a cal. O conjunto de análises deste trabalho indica a restrição ao uso da CCCC em matrizes cimentícias em função da baixa reatividade com o hidróxido de cálcio (CH) e dos altos teores de álcalis, dos metais pesados e do fenol detectados nessa cinza.

**Palavras-chave:** cinzas agroindustriais, pozolanicidade, DrX, BET.

**ABSTRACT.** A study of the chemical and physical properties of cashew nut shell ash for use in cement materials. Ash occupies a prominent place among agro-industrial wastes, as it is derived from energy generation processes. Several types of ash have pozzolanic reactivity, and might be used as replacement material for cement, resulting in less energy waste and lower cost. This work aimed to investigate the physical and chemical properties of the cashew nut shell ash (CNSA), by performing the following measurement tests: chemical analysis, bulk density, specific mass, leaching and solubilization process, X-ray diffraction (XrD), specific surface area (BET) and pozzolanicity analysis with cement and lime. The results indicate a low reactivity of CNSA and the presence of heavy metals, alkalis and phenol.

**Key words:** agro-industrial ash, pozzolanicity, XrD, BET.

## Introdução

A preocupação com o cenário energético mundial, que vem se agravando desde a Crise do Petróleo iniciada em 1973, tem estimulado a busca por fontes de energias renováveis que diminuam o consumo de combustíveis fósseis, esgotáveis e altamente poluentes, por produtos sustentáveis em acordo com as normas ambientais vigentes. Sabe-se que a queima de derivados de combustíveis fósseis (petróleo e carvão, por exemplo) está acelerando o aumento da temperatura do planeta, fenômeno conhecido pela comunidade científica como aquecimento global.

Apesar de não ser recente, somente agora tem demandado preocupação dos países desenvolvidos, até então alheios aos apelos da comunidade científica. Perda da diversidade, aumento da temperatura, temporais, diminuição da produção de gêneros alimentícios e outros problemas são algumas consequências deste fenômeno, que podem frear

qualquer tipo de desenvolvimento humano, esteja ele na escala econômica ou social.

Por essa razão, a busca por materiais alternativos, o desenvolvimento de materiais menos poluentes ou que utilizem menos matérias-primas naturais, a reutilização de resíduos sólidos e a diminuição da emissão de gás carbônico são algumas medidas necessárias para o atual cenário mundial.

## O uso de cinzas agroindustriais

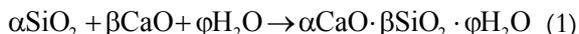
Os subprodutos de origem vegetal, notadamente os subprodutos agroindustriais, resíduos ou cinzas processadas, vêm sendo estudados para utilização como combustíveis, fertilizantes e estabilizantes de solos. A construção civil, pelo expressivo volume físico de materiais que incorpora, é o maior mercado potencial para reciclagem. Muitas pesquisas são encontradas na literatura atual, as quais estão sendo desenvolvidas com resíduos agroindustriais visando seu aproveitamento como adições minerais em matrizes cimentícias (JOHN et al., 2003).

As cinzas são subprodutos gerados por processos industriais ou agroindustriais, ou originam da queima de outros resíduos, pela reincorporação destas no processo. Aplicações de resíduos agroindustriais como adição mineral no cimento Portland têm grande aplicabilidade na construção civil, visto que esses materiais possuem características físicas e químicas que são próprias para utilização em concretos e argamassas (MANNAN; GANAPATHY, 2004).

Segundo John et al. (2003), em princípio, qualquer cinza vegetal predominantemente siliciosa, que possa ser produzida no estado amorfo e com finura adequada, pode ser utilizada como adição mineral. Sua reatividade vai depender da composição química, fortemente influenciada pelo produto que gerou a cinza, pelo solo e pelo processo de produção da cinza. Uma vez que as cinzas contenham elevado teor de sílica, elas podem ser de utilização viável como adições minerais.

Outro fator relevante referente às adições minerais deve-se à sua composição física (estado amorfo ou cristalino) e, caso apresentem reatividade, em meio aquoso com o CH (hidróxido de cálcio), resultando em endurecimento, podem ser utilizados como adição mineral pozolânica.

A reação pozolânica se caracteriza pelo consumo lento do CH livre, após hidratação do cimento anidro, pelo material pozolânico que gera C-S-H (silicato de cálcio hidratado) adicional. Essa reação pode ser simplificada representada pela Equação 1.



As pozolanas, sejam elas naturais ou artificiais, devem ter como constituinte preponderante a sílica, que reage com a cal para formar o C-S-H, contribuindo para a resistência mecânica do sistema cimentício. Pode conter também alumina e óxido de ferro responsáveis pela formação de silico-aluminatos e aluminatos, com contribuição menos expressiva para a resistência mecânica, além de óxidos de metais alcalinos e óxido de cálcio (MALHOTRA; MEHTA, 1996).

Em recente entrevista em periódico técnico especializado, Povindar Kumar Mehta defendeu menor consumo de concreto nas novas estruturas, além de menos cimento nas misturas para concreto e o uso de pouco clínquer para produzir cimento. O especialista propôs que se substituísse parte da massa de clínquer por cinzas residuais e/ou pozolanas naturais. Ele fez, ainda, uma comparação abstrata entre o concreto e o deus *Shiva* da mitologia hindu,

atestando que o concreto é um material capaz de absorver a enorme quantidade de resíduos gerados pela sociedade (REVISTA TÉCNICA, 2008).

Por essas e outras razões, vários estudos estão sendo realizados com o objetivo de substituir as matérias-primas da construção civil (cimento e agregados) por resíduos industriais e urbanos. Sendo assim, este trabalho se propõe a avaliar as características físicas e químicas da cinza da casca de castanha do caju (CCCC), visando seu aproveitamento como adição mineral em matrizes cimentícias.

### Material e métodos

O caju é formado pelo pedúnculo, pseudofruto carnoso e duro, de cor amarela, alaranjada ou vermelha e pelo fruto verdadeiro do cajueiro, a castanha de caju, de onde se extrai o principal produto de consumo, a amêndoa (PAIVA et al., 2000).

O processo de obtenção da amêndoa começa pela decorticação, ou seja, a separação da amêndoa e da casca, que acontece em tanques com cardol. Este é aquecido pelo calor gerado em caldeiras, ao passar por serpentinas numa temperatura de  $800 \pm 5^\circ\text{C}$ . Os subprodutos dessa etapa são as amêndoas, de grande valor comercial, e as cascas encharcadas de cardol (Figura 1), ainda com grande potencial combustível. Comparativamente, o poder calorífico deste resíduo é equivalente ao de outros produtos utilizados para o mesmo fim, como a casca da semente de algodão, casca de amendoim, serragem e outros (AGOSTINI-COSTA et al., 2000).



**Figura 1.** Cascas de castanha após decorticação: bagaço de pedaços não-uniformes.

Essas cascas, resíduos da produção, são incorporadas novamente ao processo, e geram calor nas caldeiras para a decorticação de novas castanhas. A cinza é o resíduo colhido no fundo da grelha das caldeiras, resultante da queima das cascas, cujo

resfriamento se faz lentamente. Atualmente, esse resíduo é utilizado como adubo em plantações de caju e uma pequena parte é destinada a aterros sanitários comuns. A cinza representa aproximadamente 5% do peso da castanha inicial, e com a atual produtividade da cajucultura, a geração dessas cinzas é de aproximadamente 15 mil toneladas por ano.

Na bibliografia consultada não foram observadas pesquisas sobre o uso da cinza da casca da castanha de caju (CCCC) como adição mineral para concretos e argamassas. Contudo, há uma possível potencialidade em relação a esse uso, considerando-se os resultados obtidos com outras cinzas de origem agroindustrial, pela expressiva quantidade de sílica em materiais de origem orgânica.

A cinza utilizada nesta pesquisa foi cedida pela empresa Cione – Companhia Industrial de Óleos do Nordeste, localizada em Fortaleza, Estado do Ceará, disposta em sacos lacrados de faces aluminizadas. A amostra utilizada passou por moagem em moinho de bolas metálicas durante 1h (LIMA et al., 2007). As características principais do moinho utilizado para a moagem da CCCC são: volume interno de 6,8 L; velocidade de 132 rotações  $\text{min}^{-1}$ ; 12 esferas com 170 g cada uma; e quantidade de CCCC utilizada em cada moagem de 700 g.

Para as análises de pozolanidade, utilizou-se cimento de alta resistência inicial, CP V ARI, fornecido pela Ciminas S.A. - Grupo Holdercim, com massa específica igual a  $3,12 \text{ kg dm}^{-3}$ , massa unitária no estado seco e solto igual a  $1,02 \text{ kg dm}^{-3}$  e superfície específica Blaine igual a  $4.687 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ . A cal hidratada utilizada foi do tipo CH-III, da marca Itaú, com massa específica igual a  $2,30 \text{ g cm}^{-3}$  e massa unitária no estado solto igual a  $0,50 \text{ g cm}^{-3}$ .

#### **Análise química**

A amostra foi solubilizada em meio de fusão alcalina e os elementos determinados em espectrômetro de emissão ótica com plasma induzido, modelo VISTA, da marca Varian, exceto para potássio e silício, que foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica com chama, modelo Spectra A 640, da marca Varian (IT AQ-158 revisão 009). A análise química foi realizada no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos.

#### **Determinação da massa específica e da massa unitária**

O ensaio de massa específica da CCCC foi realizado seguindo as recomendações da NM 23 (AMN, 2000). Por sua vez, o ensaio de massa

unitária da CCCC foi executado de acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982). A única alteração deu-se em relação ao recipiente, que nesta pesquisa foi alterado para um de 3,0 litros. Essa mudança foi necessária pela característica da CCCC, já que essa não se trata de um agregado, e sim, de um material pulverulento.

#### **Análise dos extratos lixiviado e solubilizado**

Nas análises de lixiviação e solubilização das amostras de CCCC foram determinados possíveis contaminantes e/ou metais pesados contidos no material, seguindo, respectivamente, as especificações da NBR 10005 e da NBR 10006 (ABNT, 2004b e c). O resíduo foi classificado de acordo com as especificações da NBR 10004 (ABNT, 2004a). As análises foram realizadas no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).

#### **Análise por difratometria de raios X**

A identificação dos picos presentes no difratograma, por comparação em bancos de dados específicos, permite a avaliação sobre o quanto uma amostra é amorfa ou cristalina, como também sua comparação, de forma qualitativa, com outros materiais de mesma natureza. Essa técnica foi utilizada na amostra do pó da CCCC para a obtenção dos materiais cristalinos predominantes, bem como para a observação da presença da fase amorfa.

As análises foram realizadas no Laboratório de Cristalografia de Raios X do Instituto de Física de São Carlos (IFSC-USP). Utilizou-se um difratômetro de raios X da marca RIGAKU ROTAFLEX, modelo RU200B. As condições para realização das análises foram: radiação,  $\text{Cu K}\alpha$ ; tensão, 50 kV; corrente, 100 mA; varredura com passo de  $0,02^\circ 2\theta$ ; tempo de coleta,  $2^\circ \text{ min}^{-1}$ ; intervalo de varredura,  $3^\circ$  a  $100^\circ 2\theta$ .

#### **Determinação da superfície específica – método BET**

Foi escolhido o método BET (*Brunauer-Emmet-Teller*) para análise da superfície específica da CCCC. O ensaio foi realizado no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos.

#### **Análise da pozolanidade com o cimento Portland e com a cal**

Para a análise da pozolanidade com a cal e com o cimento Portland foram seguidas as recomendações da NBR 5751 (ABNT, 1992a) e da NBR 5752 (ABNT, 1992b), respectivamente.

## Resultado e discussão

### Análise química

Nos resultados da análise química da CCCC (Tabela 1), nota-se um teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) no valor de 12,17%, abaixo dos teores recomendados por outros autores para que uma cinza apresente reatividade. Para JOHN et al. (2003), na avaliação da reatividade de uma adição mineral é de fundamental importância realizar uma análise química, devendo esse material apresentar silício como elemento predominante.

**Tabela 1.** Análise química da CCCC.

Constituintes	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$	$\text{TiO}_2$	PF
Amostra (%)	24,79	16,34	12,17	6,54	3,06	2,15	1,37	0,29	0,087	17,90

Além disso, a CCCC não apresenta as exigências mínimas da NBR 12653 (ABNT, 1992c), especificados na Tabela 2, que a classifiquem como material pozolânico, salientando a alta perda ao fogo e o alto teor de álcalis. No entanto, apesar de ser um ponto de partida para classificar as adições minerais como materiais pozolânicos, Malhotra e Mehta (1996) divergem a respeito de normas como a NBR 12653, por vários motivos, entre eles: i) a quantidade mínima de 50% de ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) não apresenta relação direta com as propriedades do material; e ii) parte-se do princípio de que o material encontra-se na fase amorfa, o que muitas vezes não ocorre.

**Tabela 2.** Exigências físicas estabelecidas para materiais pozolânicos.

Propriedades	CCCC (%)	NBR 12653 Classe "E"
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	16,60	50,00
$\text{SO}_3$ , % máx.	-	5,00
Teor de umidade, % máx.	-	3,00
Perda ao fogo, % máx.	17,90	6,00
Álcalis disponíveis em $\text{Na}_2\text{O}$ , % máx.	2,15	1,50

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 1992c).

Portanto, apenas a análise química não deve ser um fator determinante na reatividade da CCCC, sendo apenas indicativa em relação às quantidades de materiais potencialmente reativos. Outros fatores, como superfície específica, a capacidade de empacotamento e o efeito filer, podem contribuir na melhora das propriedades de argamassas confeccionadas com essa cinza (LAWRENCE et al., 2005).

Pela análise química, observou-se também a expressiva quantidade de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), 24,79%, de magnésio ( $\text{MgO}$ ), 16,34%, e de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), 2,15%, presentes na CCCC. Esses constituintes,

denominados álcalis, podem provocar a decomposição do concreto e influenciar a velocidade do aumento da resistência desse material. O teor de  $\text{Na}_2\text{O}$ , por exemplo, não deve ultrapassar 0,6% em massa no concreto.

A NBR 12653 (ABNT, 1992c) também limita a quantidade de equivalentes de  $\text{Na}_2\text{O}$  nos materiais pozolânicos em 1,5%. O cálculo da equivalência de  $\text{Na}_2\text{O}$  leva em consideração também o teor de potássio, por meio da equação " $\text{Na}_2\text{O} + 0,64\text{K}_2\text{O}$ " (NEVILLE, 1997). Por essa fórmula, a quantidade de álcalis disponíveis na CCCC fica em 18,02%, o que limita seu uso em baixos teores, dependendo do tipo de cimento utilizado.

### Massa específica e massa unitária

O resultado referente à análise da massa específica da CCCC foi de  $2,23 \text{ g cm}^{-3}$ , obtido pela média de dois ensaios consecutivos. O resultado referente à análise da massa unitária da CCCC foi de  $0,56 \text{ g cm}^{-3}$ , obtido pela média de três ensaios consecutivos.

A massa unitária da CCCC apresenta um valor maior que o da sílica ativa, calculado em  $0,20 \text{ g m}^{-3}$ . Essa diferença aponta para a melhor compactação das partículas da CCCC em relação às da sílica ativa. Esse resultado pode ser atribuído à forma dos grãos ou à variação do tamanho das partículas, o que confere a essas uma maior compactidade (MALHOTRA; MEHTA, 1996).

### Níveis de contaminação

Pelas análises do extrato lixiviado, segundo a norma NBR 10005 (ABNT, 2004b), e do extrato solubilizado, segundo a norma NBR 10006 (ABNT, 2004c), foram detectados vários metais pesados na amostra de CCCC. A Tabela 3 apresenta tais substâncias, as quais conferem periculosidade aos resíduos, encontradas no extrato solubilizado da CCCC.

**Tabela 3.** Substâncias perigosas encontradas na CCCC e os respectivos limites exigidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004a).

Parâmetro	Unidade	Resultado	Limite máximo no extrato ( $\text{mg L}^{-1}$ )
Cádmio	$\text{mg Cd L}^{-1}$	0,57	0,005
Chumbo	$\text{mg Pb L}^{-1}$	1,39	0,01
Cromo total	$\text{mg Cr L}^{-1}$	3,09	0,05
Fenóis totais	$\text{mg C}_6\text{H}_5\text{OH}$	0,042	0,01
Prata	$\text{mg Ag L}^{-1}$	0,62	0,05
Manganês	$\text{mg Mn L}^{-1}$	0,21	0,10

Esses teores apresentam-se acima do limite permitido, para várias substâncias químicas, de acordo com o Anexo G - Padrões para o ensaio de solubilização, e com o Anexo C - Substâncias que

conferem periculosidade aos resíduos da NBR 10004 (ABNT, 2004a). De acordo com a citada norma, apesar dos altos níveis encontrados de metais pesados e fenol no extrato solubilizado, a CCCC classifica-se como Resíduo não-perigoso – Classe II A – Não-inerte. Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Uma das causas da contaminação por metais pesados pode ser pela utilização de agrotóxicos no cajueiro. Penetrando na casca da castanha, esses produtos podem não ter sido totalmente eliminados durante o processo industrial do qual se origina a CCCC.

Os estudos relativos a metais pesados nos ecossistemas têm indicado concentrações elevadas desses elementos em muitas áreas próximas de complexos industriais urbanos, e também, nas áreas de agricultura altamente tecnificada. Nessas regiões, os solos têm sido poluídos com chumbo, cádmio, níquel, prata e outros metais pesados (ALLOWAY, 1995). O aumento anormal das concentrações desses elementos nos solos de tais áreas resulta da deposição atmosférica e da aplicação de fertilizantes, corretivos, agrotóxicos, água de irrigação, resíduos orgânicos e inorgânicos (RAMALHO; SOBRINHO, 2001).

Quanto às interações com a matriz cimentícia, Chandra (1996) salienta que a presença de metais pesados pode afetar o desenvolvimento das resistências e a hidratação dos produtos cimentícios, como apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Influência dos metais pesados na reatividade hidráulica e na qualidade do cimento e concreto (CHANDRA, 1996).

Parâmetro	Influência na reatividade hidráulica	Influência na qualidade do cimento e concreto	
		Início e fim de pega	Desenvolvimento das resistências
Cádmio	não afeta	retarda	não afeta
Chumbo	↓ C <sub>2</sub> S ↑ C <sub>3</sub> A	retarda	diminui
Cloretos	↑ C <sub>3</sub> S ↑ C <sub>3</sub> A	acelera	aumenta
Cromo	↓ C <sub>2</sub> S	acelera	diminui
Manganês	↑ C <sub>3</sub> S ↑ C <sub>2</sub> S ↑ C <sub>3</sub> A ↑ C <sub>4</sub> AF	depende do teor*	diminui

(\*)Quando o manganês ocupa o lugar do Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (F) no C<sub>4</sub>AF em menos de 50% de substituição, a pega na matriz cimentícia é acelerada; quando esse teor passa dos 50%, ocorre o fenômeno inverso.

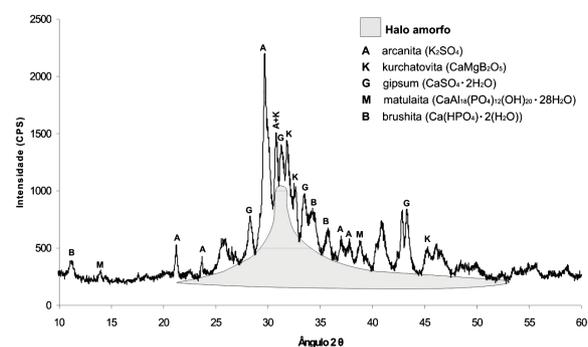
A origem do fenol pode ser atribuída ao líquido da castanha do caju (LCC). As cascas das castanhas apresentam LCC mesmo depois de queimadas e separadas da amêndoa. O processo de queima, do qual se origina a CCCC, pode não eliminar totalmente o fenol. De coloração escura e bastante viscoso, o LCC é considerado um composto agressivo à saúde humana, sendo formado principalmente de cardanol (60 - 65%), cardol (15 - 20%), material polimérico (10%) e traços de

metilcardol. O extrato dissolvido contém ácido anacárdico (60 - 65%), cardol (15 - 20%), cardanol (10%) e traços de metilcardol (AGOSTINI-COSTA et al., 2000).

**Difratometria de Raios X**

Pelo difratograma da CCCC, observa-se um halo característico da presença de material amorfo, entre os ângulos 25° e 35° 2θ, conforme Figura 2.

Pela identificação das fases cristalinas presentes no difratograma da amostra de CCCC, pode-se observar os elementos predominantes no pó “in natura”, com destaque para o mineral arcanita (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – sulfato de potássio), pico identificado aproximadamente no ângulo 30°2θ. Os demais compostos encontrados são formados, predominantemente, pelas espécies químicas potássio (K), fósforo (P) e cálcio (Ca), principais constituintes da CCCC, destacados pela análise química.



**Figura 2.** Difratograma de raios X da CCCC.

O sulfato de potássio é comumente utilizado em fertilizantes à base de potássio, podendo ser essa a sua origem. O sulfato de potássio foi encontrado também em amostras de cinza originadas da queima do bagaço do caju - pedúnculo (SANTOS et al., 2007). Sabe-se que o sulfato de potássio, mesmo tendo custo mais elevado, é recomendado para utilização em diversas culturas como substituto do cloreto de potássio – KCl (MASCARENHAS et al., 1994).

**Superfície específica BET**

Os dados relativos ao ensaio BET da CCCC são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Dados da superfície específica da amostra analisada.

Amostra	Pré-tratamento	Área (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Superfície específica externa da partícula (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Superfície específica interna do poro (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
CCCC	Moagem	17.230	11.740	5.496

O método BET é largamente utilizado para determinar a superfície específica de materiais

sólidos com diferentes tamanhos de poros. Sabe-se que uma limitação do método BET é o fato de que ele somente pode ser aplicado em amostras porosas se estas possuírem poros abertos que possam ser preenchidos pelo gás utilizado (ODLER, 2003).

Mais de 30% da superfície específica das partículas de CCCC se referem aos poros internos. Essa característica pode explicar a maior demanda de água de amassamento e a perda de trabalhabilidade da argamassa, quando há a substituição de cimento Portland (CPV ARI) por CCCC acima de 10%.

### Análise da pozolanicidade

Os resultados da análise da pozolanicidade com o cimento Portland, apresentados na Tabela 6, indicam que o índice de pozolanicidade (IP) dos corpos-de-prova com CCCC não atingiu o valor de 75% exigido pela NBR 12653 (ABNT, 1992c), não podendo ser classificada como material pozolânico. Porém, a substituição de 35% de cinza, em volume, no lugar de cimento Portland, pode ser considerada alta, uma vez que os níveis ótimos de utilização da cinza da casca do arroz, geralmente, podem chegar a 30% em massa (GANESAN et al., 2008).

**Tabela 6.** Resultado da análise da pozolanicidade com cimento Portland.

	Amostra padrão	Amostra com CCCC
Resistência à compressão (MPa)	27,19	9,33
Índice de pozolanicidade	-	34,31

Em relação ao ensaio de pozolanicidade com a cal, terminado o tempo de cura, estabelecido pela norma NBR 5751 (ABNT, 1992a), no qual os corpos-de-prova foram mantidos protegidos por filme plástico para evitar perda excessiva de umidade, eles foram esfriados à temperatura ambiente e capeados com enxofre. No entanto, por causa da pouca resistência adquirida durante a cura, não foi possível concluir o capeamento com enxofre pela desintegração dos corpos-de-prova durante a operação. Essa baixa resistência à compressão, bem inferior aos 6,00 MPa exigidos pela norma NBR 5751 (ABNT, 1992a). Valores abaixo de 6,0 MPa também foram obtidos em ensaios de pozolanicidade com a cal utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) moídas por tempo inferior a 30 min. (CORDEIRO et al., 2008).

Alguns estudos indicam que não existe correlação entre os resultados da atividade pozolânica obtidos com a mistura de cal e os obtidos com cimento Portland. Na verdade, são dois sistemas diferentes, estudados em condições de ensaio também diferentes. Não se pode deixar de

considerar o efeito da elevada temperatura no ensaio com a cal. O ensaio similar, em temperatura ambiente, deve demonstrar resultados bem inferiores. Assim, esse ensaio só seria relevante se a aplicação que se busca para a pozolana envolver a mistura com a cal levada à alta temperatura (JOHN et al., 2003).

### Conclusão

A partir dos resultados obtidos na caracterização físico-química de amostras de cinza da casca de castanha de caju, estudadas nesta pesquisa, pode-se concluir que:

- a análise química não pode e nem deve ser a principal determinante do potencial reativo de uma cinza, visando seu aproveitamento como substituto parcial do cimento Portland em matrizes cimentícias. Os ensaios normativos existentes para determinação da pozolanicidade de adições minerais podem ser considerados incompletos, não fornecendo subsídios para a análise da reatividade por outros parâmetros, como a quantidade de material amorfo presente na amostra. Apesar do baixo teor de sílica presente na CCCC, outros fatores, como superfície específica, a capacidade de empacotamento e o efeito fíler, podem contribuir na melhora das propriedades de argamassas confeccionadas com essa cinza;

- em relação aos níveis de contaminação, a análise do extrato solubilizado da CCCC apresentou vários tipos de metais pesados e fenol. Os metais pesados interferem no desenvolvimento das resistências e nos tempos de pega das matrizes cimentícias;

- pela técnica de Difratomia de raios X, pôde-se observar um halo presente no difratograma da CCCC "in natura", característico de materiais amorfos;

- o conjunto de análises deste trabalho indica a restrição ao uso da CCCC em matrizes cimentícias em razão dos altos teores de álcalis, dos metais pesados e do fenol detectados nessa cinza.

### Agradecimentos

Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp, pela bolsa concedida, e ao Laboratório de Construção Civil – LCC/ SAP/ EESC-USP.

### Referências

AGOSTINI-COSTA, T. S.; SANTOS, J. R.; GARRUTI, D. S.; FEITOSA, T. Caracterização, por cromatografia em camada delgada, dos compostos fenólicos presentes em pedúnculos de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 18, n. 1, p. 129-137, 2000.

- ALLOWAY, B. J. Cadmium. In: **Heavy metals in soils**. Glasgow: Blackie and Son, 1995. p. 107-108.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7251** - Agregado em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5751** - Materiais pozolânicos - determinação da atividade pozolânica - índice de atividade pozolânica com cal. Rio de Janeiro, 1992a.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5752** - Materiais pozolânicos - determinação da atividade pozolânica com cimento Portland - índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro, 1992b.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12653** - Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992c.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004** - Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10005** - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10006** - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.
- AMN-Asociación Mercosur de Normalización. **NM 23** - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da densidade absoluta, Montevideo, 2000.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. R. M. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 5, p. 410-418, 2008.
- CHANDRA, S. **Waste materials used in concrete manufacturing**. edited by Satish Chandra. Building Materials Science Series. Noyes Publications: New Jersey, 1996.
- GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 1675-1683, 2008.
- JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. G. Cinzas e aglomerantes alternativos. In: FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. (Coord.). **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: Unicamp, 2003. p. 145-190.
- LAWRENCE, P.; CYR, M.; RINGOT, E. Mineral admixtures en mortars: effect of type, amount and fineness of fine constituents on compressive strength. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n 4, p. 1092-1105, 2005.
- LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A.; CAMPOS, M. F. Influência do tempo de moagem na pozolanidade da cinza da casca da castanha de caju. In: IBRACON, 50., 2007. **Anais...** Bento Gonçalves: Ibracon, 2007. p. 1-14.
- MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **Pozzolanic and cementitious materials**. Advances in Concrete Technology, 1st ed. Amsterdam: Gordon and Breach Publishers, 1996.
- MANNAN, M. A.; GANAPATHY, C. Concrete from an agricultural waste oil-palm shell (OPS). **Building and Environment**, v. 39, p. 441-448, 2004.
- MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; GALLO, P. B.; BATAGLIA, O. C. Efeito de adubos potássicos na produção de soja. **Scientia Agricola**, v. 51, n. 1, p. 82-89, 1994.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.
- ODLER, I. The BET-specific surface area of hydrated Portland cement and related materials. **Cement and Concrete Research**, v. 33, n. 12, p. 2049-2056, 2003.
- PAIVA, F. F. A.; GARRUTI, D. S.; SILVA NETO, R. M. **Aproveitamento industrial do caju**. Fortaleza: Embrapa/Sebrae, 2000.
- RAMALHO, J. F. G. P.; SOBRINHO, N. M. B. A. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Floresta e Meio Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 120-129, 2001.
- REVISTA TÉCNICA. Concreto sustentável. Entrevista com Povindar Kumar Mehta. **Técnica**, n. 139, p. 24-27, 2008.
- SANTOS, R. P.; SANTIAGO, A. A. X.; GADELHA, C. A. A.; CAJAZEIRAS, J. B.; CAVADA, B. S.; MARTINS, J. L.; OLIVEIRA, T. M.; BEZERRA, G. A.; SANTOS, R. P.; FREIRE, V. N. Production and characterization of the cashew (*Anacardium occidentale* L.) peduncle bagasse ashes. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 1432-1437, 2007.

Received on June 25, 2009.

Accepted on February 9, 2010.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.