

## *Cinzas de casca de coco e de bagaço de cana como adição mineral em misturas contendo cimento Portland*

A utilização da biomassa como alternativa na geração de energia é uma prática bastante difundida quando se almeja a redução de impactos ambientais, especialmente quando é possível utilizar o seu resíduo em outros processos. Nesse sentido, o presente trabalho buscou caracterizar e analisar o potencial das cinzas das Biomassas de Casca de Coco (CCC) e de cinzas de Bagaço de Cana (CBCA) com base na redução do impacto ambiental na região. A partir da investigação das características físico-químicas desses componentes, buscou-se a seleção do resíduo para maior adequação ao emprego como adição mineral em misturas cimentícias. Foram realizadas análises químicas de termogravimetria (TG) e de difração de raios-x (DRX) para melhor entendimento sobre o comportamento do material, bem como foram feitos ensaios de resistência à compressão com a cal aos sete dias e IAP (Índice de Atividade Pozolânica) com o cimento aos vinte e oito dias. Com os resultados obtidos, pode-se entender que as amostras possuem potencial pozolânico, uma vez que apresentam as características físicas e químicas requeridas, mas foram encontrados valores reduzidos de resistência à compressão. No entanto, devido ao seu alto teor de sílica e comportamento químico, os materiais podem ser utilizados como uma adição mineral. Além disso, as cinzas provenientes da cana de açúcar e da casca do coco podem ser uma alternativa, substituindo parcialmente a areia na composição da argamassa para revestimento, devido à sua baixa necessidade de resistência à compressão.

**Palavras-chave:** Biomassa; Impactos-ambientais; Materiais Pozolânicos.

## *Coconut shell and cane bagasse ash as mineral addition in mixtures containing Portland cement*

The use of biomass as an alternative in the generation of energy is a very widespread practice when the aim is to reduce environmental impacts, especially when it is possible to use its waste in other processes. This way, the present work sought to characterize and analyze the potential of the ashes of the Bark Coconut Biomass (CCC) and of sugarcane bagasse ash (CBCA) based on the reduction of the environmental impact in the region. From the investigation of the physical-chemical characteristics of these components, the selection of the residue was sought for greater suitability for use as a mineral admixture in cement based mixtures. Chemical analyzes of thermogravimetry (TG) and x-ray diffraction (DRX) were performed for a better understanding of the material's behavior, as well as, analyzes of compressive strength with lime at seven days and the IAP (Pozzolanic Activity Index) with cement at twenty-eight days. With the results obtained, it can be understood that the samples have pozzolanic potential, since they present the required physical and chemical characteristics the, but reduced values of compressive strength were found. However, due to their high silica content and chemical behavior, the materials can be used as a mineral admixture. Besides that, the ash from sugar cane and coconut shell can be an alternative, partially replacing the fine aggregate in the composition of the mortar for coating, due to its low need for resistance to compression.


**Keywords:** Biomass; Environmental impacts; Pozzolanic materials.


Topic: Engenharia Química


Received: 04/03/2021


Approved: 22/03/2021


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


**Flávia Fabiana Martins Pacífico**   
Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6394219466930365>  
<http://orcid.org/0000-0002-5449-4558>  
[flaviafmartins@hotmail.com](mailto:flaviafmartins@hotmail.com)

**Daniele de Castro Pessoa de Melo**   
Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4010783198064867>  
<http://orcid.org/0000-0003-4058-092X>  
[daniele.castro@itep.br](mailto:daniele.castro@itep.br)

**Mayara Teixeira da Silva**   
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8304129070413622>  
<http://orcid.org/0000-0001-5273-993X>  
[mayara.silva@ufu.br](mailto:mayara.silva@ufu.br)

**Eduardo Antonio Maia Lins**   
Instituto Federal de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6148771863554184>  
<http://orcid.org/0000-0002-9108-4179>  
[eduardomaialins@gmail.com](mailto:eduardomaialins@gmail.com)

**Wanderson dos Santos Sousa**   
Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2702592671280843>  
<http://orcid.org/0000-0002-2081-3434>  
[wanderson.santos@itep.br](mailto:wanderson.santos@itep.br)

**Karoline Alves de Melo Moraes**   
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3666730659065228>  
<http://orcid.org/0000-0002-3168-3313>  
[kamm@ctec.ufal.br](mailto:kamm@ctec.ufal.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0034

### Referencing this:

PACÍFICO, F. F. M.; MELO, D. C. P.; SILVA, M. T.; LINS, E. A. M.; SOUSA, W. S.; MORAES, K. A. M.. Cinzas de casca de coco e de bagaço de cana como adição mineral em misturas contendo cimento Portland.

**Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.3, p.421-430, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0034>

## **INTRODUÇÃO**

É inegável a grande importância que a energia tem para a humanidade. Entretanto, para que seu uso seja possível, grandes impactos negativos ainda são gerados e afetam o meio ambiente. Constantemente o planeta está sendo afetado pela queima de combustíveis fósseis, levando ao aquecimento global, poluição por emissão de gases do efeito estufa, entre outros aspectos negativos (SOUZA et al., 2015).

Por essa perspectiva, há uma grande preocupação e busca por fontes renováveis de energia, fazendo com que cada vez mais sejam direcionados esforços a fim de atenuar e/ou até mesmo eliminar essa problemática através do desenvolvimento de materiais alternativos. Deste modo, fontes de energias consideradas renováveis, como exemplo as geradas a partir da biomassa, englobam grande potencial capaz de cada vez mais direcionar o setor energético para a produção sustentável (SOUZA et al., 2015).

Na concepção de Tripathi et al. (2019), a biomassa é um hidrocarboneto que, ao contrário do petróleo, possui átomos de oxigênio na sua composição química, que fazem com que a biomassa demande menos oxigênio do ar e, portanto, seja menos poluente. Por outro lado, eles reduzem a quantidade de energia a ser liberada, reduzindo o seu poder calorífico como combustível.

Segundo Carevic et al. (2021), o conteúdo de cinzas de biomassa é um problema complexo, de composição química e morfológica heterogêneas, pois a quantidade de cinzas não somente depende do conteúdo orgânico e inorgânico e possíveis impurezas, mas também do ponto de amostragem, época da colheita e suas condições. Deste modo, as propriedades de cinzas obtidas de diferentes biomassas, e até mesmo da mesma biomassa, mas com diferentes parâmetros de queima podem variar, assim como sua eficiência nas diferentes aplicações.

Uma das aplicações que se tem estudado para essas cinzas é na produção de misturas a base de cimento, podendo ser aplicadas como adição mineral. As adições minerais uma vez empregadas conjuntamente com o cimento Portland, modificam as propriedades das misturas formadas, sendo, dessa forma, possível proporcionar um melhor desempenho tecnológico. Segundo a NBR 11172 (ABNT, 1990), o termo “adição” deve ser empregado para designar “produto de origem mineral adicionado aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características”. Ainda para esta norma, as adições minerais podem ser classificadas quanto à sua ação físico-química em três tipos: inertes, cimentantes e pozolânicas. De forma geral, as adições minerais provocam efeitos físicos ou químicos sobre os produtos cimentícios.

Por ser um material abundante, as cinzas do bagaço da cana como material pozolânico em potencial são estudadas em várias partes do mundo, entretanto os resultados obtidos por esses estudos nem sempre são congruentes, já que há diferenças nas características das amostras, que são influenciadas pelas condições de queima e pela moagem. Essas diferenças são vistas na forma em que a sílica se encontra nas amostras, cristalina ou amorfa e, em condições não controladas, as cinzas podem conter alto teor de carbono e matéria orgânica (MANSANEIRA et al., 2017).

Já a exploração das cinzas da casca do coco como pozolana, ainda está em desenvolvimento, de

acordo com estudos, que em sua maioria descreve ensaios com as cinzas da casca do coco em laboratório (GUIMARÃES et al., 2017; ANIFOWOSHE et al., 2016; CACURO et al., 2015). Portanto, o interesse para o uso de cinza de casca de coco ainda é relativamente recente. Entretanto é possível apontar a viabilidade do seu uso como adição mineral em sistemas cimentícios, devido às semelhanças entre a composição química da cinza do bagaço de cana e a cinza de casca de arroz.

A busca por pozolanas de elevada reatividade, por volta da década de 1980, deu ensejo a pesquisas com vistas à utilização da cinza de casca de arroz em substituição parcial ao cimento Portland, devido à presença predominante de sílica em sua composição química (GARCIA et al., 2015). É possível fazer uso de adições minerais em cimentos moídas juntamente com o clínquer ou adicionadas ao cimento durante a produção de uma pasta. Além dos aspectos técnicos, de acordo com a quantidade de carbono, atividade pozolânica e capacidade de promover melhor sustentabilidade, é possível definir quanto ao emprego ou não de uma determinada adição mineral a materiais à base de cimento. Em termos de aplicação das cinzas é possível ainda seu uso em substituição parcial a areia na argamassa para revestimento, em até 5%, contribuindo também para redução dos impactos ambientais (CANOVA et al., 2015).

O presente estudo buscou a caracterização das cinzas das Biomassas de Casca de Coco (CCC) e de Bagaço de Cana (CBCA). A partir da investigação das características físico-químicas desses componentes, buscou-se a seleção do resíduo para maior adequação ao emprego como adição mineral. A partir de uma análise geral dos materiais estudados, estes possivelmente podem ser utilizados como uma adição mineral pozolânica e até mesmo como material inerte, quando consideradas as condições de ensaio.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Descrição da área de estudo/objetivo**

O experimento realizado está associado à caracterização das cinzas das Biomassas de Casca de Coco (CCC) e de cinzas de Bagaço de Cana (CBCA) seguindo as diretrizes da ABNT.

A amostra de Cinza de Coco foi cedida por uma empresa de grande porte, no segmento de coqueicultura, da região de Alagoas. No entanto, a obtenção da cinza (resíduo da combustão da biomassa) foi realizada na unidade de processamento de coco, localizada no Paraná. As amostras de CBCA foram fornecidas por duas usinas de grande porte localizadas no município de São Miguel dos Campos e Campo Alegre, ambos no estado de Alagoas.

### **Cinza de casca de coco – CCC e Cinzas de bagaço de cana – CBCA**

A Biomassa de CCC foi queimada em caldeira de vapor saturado úmido a 187 °C a 10 Kg de pressão, tendo como resultante a cinza que é o objeto desse estudo.

Foram utilizados dois tipos de CBCA. Na CBCA I a geração de vapor da usina é constituída por 4 caldeiras de classe, sendo elas: 3 caldeiras de 50 toneladas de vapor/h e 1 com 120 toneladas de vapor/h. A temperatura da fornalha fica entre 700 – 800°C. A temperatura do vapor é de 300 a 330°C. A pressão de

trabalho é entre 21 – 23 kgf/cm<sup>2</sup>. Na CBCA II, a biomassa para geração de energia é utilizada na própria usina e queimada em caldeira a 800°C.

Para compor o traço das argamassas foram utilizadas: água potável fornecida pela concessionária Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL e estando na temperatura de 23 °C (+/- 2°C); a areia utilizada foi classificada como normal, fabricada pelo Instituto de pesquisas tecnológicas –IPT, conforme NBR 7214 (ABNT, 2015b), seca em estufa. A cal hidratada utilizada para a moldagem dos corpos de prova, apresenta resultado de acordo com o método prescrito pela norma NBR 5751 (ABNT, 2015a). O cimento Portland utilizado para os ensaios físicos foi do tipo CP II-F-32, conforme determinado na NBR 16697 (ABNT, 2018). A resistência à compressão de 30+/- 3 MPa foi atendida.

## Procedimento de ensaio

As amostras de cinzas CCC e CBCA II recebidas foram secas em estufa, conforme recomendação da NBR 5752 (ABNT, 2014b), no entanto, a amostra de CBCA I passou previamente por secagem ao sol durante 24 horas, devido à sua origem (cinza lavada). De forma descritiva tem-se: a) Recepção das amostras e secagem ao sol apenas da cinza CBCA I; b) Secagem do material em estufa a 105°C (+/- 5), por um período de 24h; c) Peneiramento das cinzas em peneira de malha #10 (2,00 mm). O material retido foi descartado e o passante foi dividido em duas partes: na primeira parte foram realizadas algumas análises físicas e químicas para a caracterização do material nas condições “in natura” e na segunda parte o material foi direcionado para moagem; d) A moagem se deu em um moinho planetário de bolas. Foram utilizadas 12 bolas, para melhorar as forças de fricção e impacto, por 30 minutos e a 360 rpm; e) O material resultante do moinho foi submetido a peneiramento em malha #270 (0,053 mm). O material retido foi descartado e o passante submetido a análises físicas e químicas para a caracterização do material nas condições “pós moagem”. A identificação das amostras, após os tratamentos realizados, pode ser evidenciada na Tabela 1. As cinzas foram caracterizadas de acordo com os procedimentos listados na Tabela 2.

**Tabela 1:** Descrição das amostras de cinzas.

AMOSTRAS	DESCRIÇÃO
CCC	Passante na peneira nº 10 (2,00 mm)
CCC M	Passante na peneira 0,053 mm após moagem
CBCA I	Passante na peneira nº 10 (2,00 mm)
CBCA I M	Passante na peneira 0,053 mm após moagem
CBCA II	Passante na peneira nº 10 (2,00 mm)
CBCA II M	Passante na peneira 0,053 após moagem

**Tabela 2:** Descrição dos ensaios realizados.

ENSAIO	PROCEDIMENTO
<b>Massa específica</b>	NBR NM 23 (ABNT,2000)
<b>Teor de umidade</b>	NBR NM 24 (ABNT,2000)
	realizada em uma termobalança, com taxa de aquecimento de 10°C min <sup>-1</sup> , sob atmosfera de ar sintético com vazão de 50 mL.min <sup>-1</sup> , na faixa de temperatura ambiente à 800°C.
<b>Análises termogravimétricas</b>	Nesse trabalho, foi avaliado o comportamento individual das cinzas, sem a adição de quaisquer outros materiais.
	método do pó utilizando-se um difratômetro, com radiação CuKα (λ=0,1542nm), filtro Ni,
<b>Difratometria de Raios X (DRX)</b>	voltagem de 40Kv e corrente de 30 mA. A aquisição dos dados foi realizada no intervalo de 2θ entre 5 e 80°C com velocidade de varredura de 2°.min <sup>-1</sup> e passo de 0,02°.
	realizada em um espectro Shimadzu, modelo EDX 7000/8000, sob vácuo, com colimador de 10 mm.
<b>Espectroscopia de fluorescência de Raio X</b>	
<b>Determinação de Perda ao Fogo</b>	NBR NM 18 (ABNT,2012)
<b>Índice de Finura</b>	determinada utilizando o Peneirador Aerodinâmico. De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014)

## Atividade pozolônica

### Determinação com cal aos sete dias

De acordo com a NBR 5751 (ABNT, 2015a), algumas etapas são necessárias para preparação da argamassa, sendo elas: a) A argamassa deve conter uma parte, em massa, de hidróxido de cálcio e mais uma quantidade de material pozolânico, que corresponda ao dobro do volume do hidróxido de cálcio; b) A quantidade de água para a mistura deve corresponder a um índice de consistência de  $(225 \pm 5)$  mm obtido no ensaio de abatimento, conforme prescreve a NBR 7215 (ABNT, 2019) e a cura dos corpos-de-prova é realizada em 7 dias, nos próprios moldes vedados; c) A análise de carga de ruptura à compressão é realizada em até 4 horas após a sua retirada da estufa, conforme NBR 7215 (2019). As massas dos materiais utilizadas nos ensaios, estão detalhadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Dosagem para determinação de atividade pozolônica com a cal 7 dias.

Material	Massa (g)		
	CCC	CBCA I	CBCA II
Cal	104	104	104
Areia Normal Nº (16,30,50, 100)	702	702	702
Cinza	298	332	267
Água	200	300	250

### Cimento aos vinte e oito dias

A mistura dos materiais e a moldagem dos corpos-de-prova foram feitas seguindo a NBR 7215 (ABNT, 2019). Foi realizado o ensaio de resistência à compressão, após o período determinado.

### Índice de desempenho com cimento

Calculado pela relação entre a resistência à compressão da argamassa A e da Argamassa B, de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014b).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Determinação da massa específica-** na cal foi realizada previamente, resultando em  $\delta = 1,85 \text{ g/cm}^3$ , e nas amostras de CBCA I e CBCA II, foi respectivamente:  $\delta_I = 2,556 \text{ g/cm}^3$  e  $\delta_{II} = 2,054 \text{ g/cm}^3$ . Já na CCC foi  $\delta = 2,295 \text{ g/cm}^3$ .

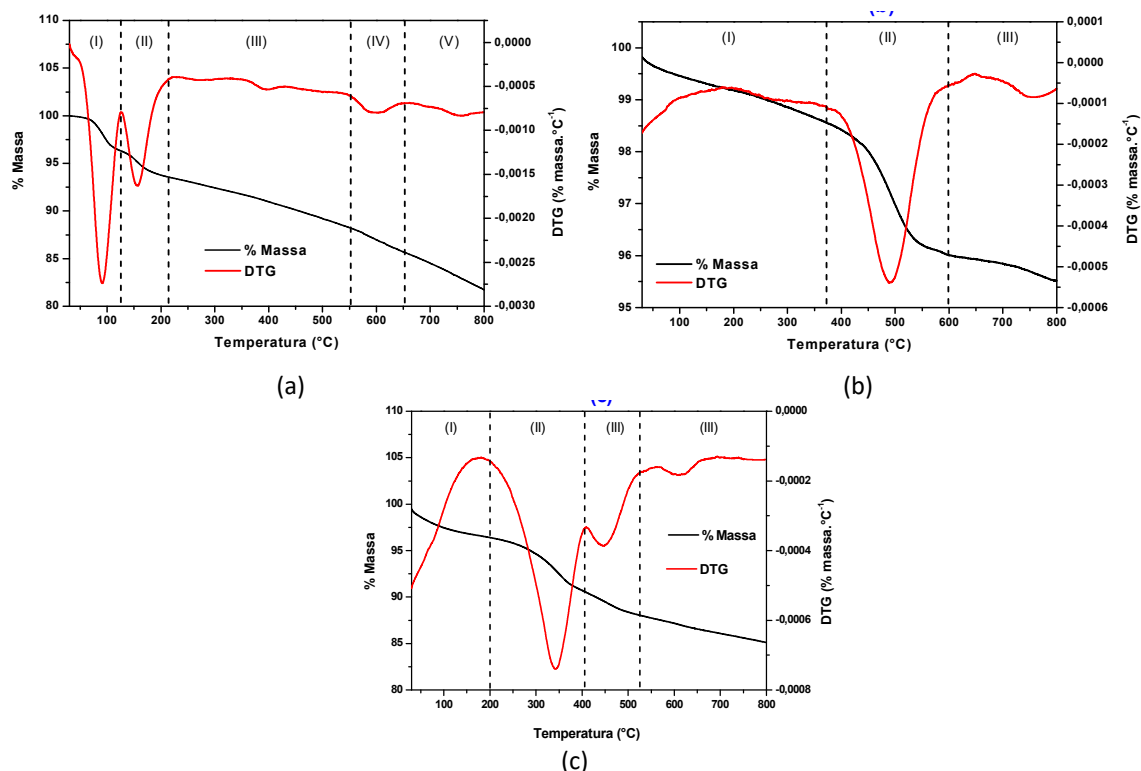
**Teor de umidade-** as amostras que passaram apenas por peneiramento, não atenderam a NBR 12653 (ABNT, 2014a), em nenhuma das amostras analisadas. Para amostras que passaram pelo processo de moagem, a umidade da CBCA I e CBCA II resultou em 2,84% e 0,74% respectivamente. Este resultado atende ao normatizado que é de  $\leq 3\%$ .

## Análises Termogravimétricas

Na Figura 1 apresentam-se os resultados de TG e DTG. Os eventos ocorridos na Figura 1 estão descritos na Tabela 4.

**Tabela 4:** Descrição dos eventos ocorridos nos gráficos.

AMOSTRA	TEMPERATURA (°C)	DESCRIÇÃO DO EVENTO
CCC	25 – 120	eliminação da água fisicamente adsorvida ao material;
	120 – 210	perda de água quimissorvida na estrutura do material;
	210 – 550	comportamento estável do material, com pequenas perdas de massas, decorrentes do aumento gradativo da temperatura;
	550 – 650	ocorre a decomposição do carbonato de cálcio: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO}$
	650 – 800	material apresenta estabilidade térmica, tendo massa residual
CBCA I	25 – 380	evaporação da água fisicamente adsorvida até 150 °C, e a partir daí há um comportamento estável até 380 °C;
	380 – 600	decomposição oxidativa do carbono presente nas cinzas da cana (provenientes principalmente da hemicelulose, celulose e lignina, constituintes principais da cana) (CORDEIRO et al.,
	>600	perda de massa é decorrente do coque depositado sobre o material gerado durante a queima do bagaço da cana. A massa residual final foi de 85,11%;
CBCA II	25 – 200	água fissorvida (fisicamente adsorvida) na estrutura do material; correspondem a decomposição oxidativa das cadeias carbônicas
	200 – 540	ocorre a decomposição do carbonato de cálcio: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ , a partir de 650°C o material apresenta estabilidade térmica, com massa residual final de 95,52%.



**Figura 1:** TG e DTG das amostras de cinzas (a) CCC, (b) CBCA I e (c) CBCA II.

## Difração de Raios X (DRX) –

Todas as fases cristalinas identificadas nas cinzas de casca de coco e nas cinzas do bagaço da cana

são características de solos argilosos. Contudo, diferentemente do padrão que os solos argilosos cauliniticos exibem após a calcinação, os difratogramas dos materiais estudados nesse trabalho não apresentaram o halo típico de materiais amorfos, indicativo de maior reatividade. Entretanto, isso não prejudica seu emprego como adição mineral ou pozolana de baixa reatividade (SANTOS et al., 2018).

### Fluorescência de Raio X

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises químicas e verifica-se na CBCA II um teor elevado de quartzo 93,3% ( $\text{SiO}_2$ ), já na CBCA I, há cerca de 54,15% ( $\text{SiO}_2$ ). Esses resultados corroboram com as discussões realizadas nas análises de difração de raios, isto é, a forma de coleta das cinzas influenciara diretamente no composição química e estrutura cristalina dos materiais estudados.

As amostras de CBCA I e II, atendem ao requisito da NBR 12653 (ABNT, 2014a) em relação à porcentagem necessária ( $\geq 50\%$ ) para os óxidos ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ). No entanto, devido ao teor de sílica muito baixo, a amostra de CCC não permite igual resultado. Em seu estudo, Castro et al. (2016) encontrou resultado aproximado de 57,41%  $\text{SiO}_2$  para a CBCA pesada, semelhante à amostra de CBCA I estudada.

**Tabela 5:** Composição química da cinza – Fórmula Composta (% em peso).

Amostra %	CaO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	MgO	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
CCC	13,08	9,12	13,87	2,44	4,33	0,52	36,74	1,52
CBCA I	14,24	5,47	54,15	10,18	2,46	0,74	5,36	0,49
CBCA II	12,58	2,43	93,30	3,07	1,29	0,62	1,62	0,11

Ainda em relação à análise química, a amostra de CCC apresentou um teor de álcalis no limite (1,52%) recomendado na norma (1,52%) NBR 12653 (ABNT, 2014a).

### Determinação de Perda ao Fogo

A amostra de cinza CBCA II, apresentada na Tabela 6, possui um percentual de perda ao fogo menor que a amostra de CBCA I. Devido à menor presença de carbono nas amostras, de acordo com Castro et al. (2016), a perda ao fogo é diretamente proporcional à quantidade de matéria orgânica presente na amostra.

Resultados aproximados para PF da CCC foram identificados por Lima et al. (2010) na amostra de cinza de caju com 17,90%.

**Tabela 6:** Análise de Perda ao Fogo (% em peso).

ANÁLISE	RESULTADO %					
	CBCA I		CBCA II		CCC	
	#2,00	#0,053	#2,00	#0,053	#2,00	#0,053
Perda ao Fogo	26,39	26,13	3,46	4,18	16,79	20,38

### Índice de Finura

A análise da finura das cinzas considerando o tratamento da amostra, apenas por peneiramento não foi satisfatória. Em especial para a CCC, que ficou completamente retida na peneira (#325 – 0,045 mm) do equipamento. Após o processo de moagem, os resultados (Tabela 7) melhoraram expressivamente, mas não

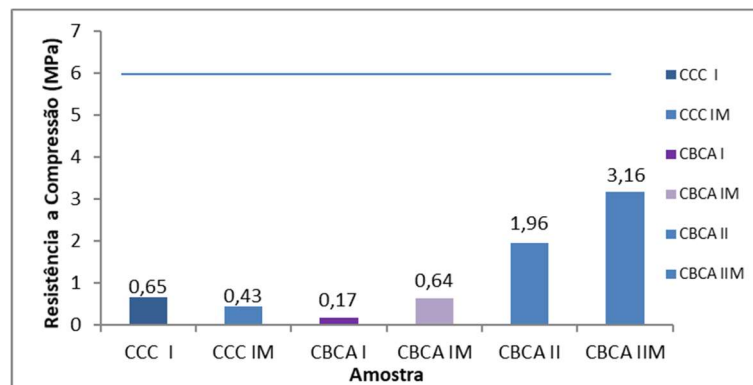
o suficiente para atender ao que a NBR 12653 (ABNT, 2014a) determina que é de <20% de retenção na peneira de 45 µm.

**Tabela 7:** Análise de finura (% em peso).

	RESULTADO %					
	CBCA I		CBCA II		CCC	
ANÁLISE	#2,00	#0,053	#2,00	#0,053	#2,00	#0,053
Finura	67,6	2,1	91	76,33	100	38

### Índice atividade pozolônica - Atividade pozolônica com cal aos sete dias

A preparação das amostras para o ensaio da cal seguiu as diretrizes da NBR 5751 (ABNT, 2015a) e os resultados de resistência à compressão aos sete dias obtidos para a amostra de CCC e CCC M, não demonstram variação de resistência em função da finura do material. No entanto, para as amostras de CBCA (I e IM) e CBCA (II e IIM), é percebido uma tendência a aumento (Figura 3). As amostras não satisfazem a norma NBR 12653 (ABNT, 2014a) devido aos resultados abaixo do mínimo requerido que é de 6 MPa. No entanto, o efeito pozolônico dos materiais pode ser evidenciado, de forma sutil, devido ao ganho de resistência, pela reação entre a cal hidratada e as amostras de CCC e CBCA utilizadas.



**Figura 3:** Efeito da finura na resistência à compressão da amostra de CCC e CBCA.

As cinzas demonstraram baixa reatividade com o hidróxido de cálcio. Para a CBCA, Amaral et al. (2012) encontraram resultado semelhante - 2,50 MPa na amostra sem tratamento térmico. Em seu estudo, os autores relatam que através da calcinação das amostras é possível alcançar ao valor estabelecido na norma.

### Atividade pozolônica com cimento aos vinte e oito dias

As amostras de CBCA apresentaram cor mais escura, em relação a CCC, podendo estar relacionada à presença de umidade das amostras.

Após o término do tempo determinado na norma, as amostras foram direcionadas para análise de resistência à compressão e de acordo com as características do cimento e da areia utilizados, o resultado esperado para a resistência à compressão do cimento da amostra referência foi atendido que é de 34 MPa.

No entanto, para as amostras que continham CCC, CBCA I M e II M os resultados de resistência à compressão foram baixos: para a amostra de CCC M foi encontrado 9,61 MPa. Esse resultado já era esperado,



devido ao comportamento dos materiais observado no ensaio da cal, não atendendo a norma NBR 12653 (ABNT, 2014a). Nas amostras de CBCA I M e II M, a resistência à compressão foi, respectivamente, de 19,86 MPa e 15,79 MPa.

### Índice de desempenho com cimento

As amostras estudadas da cinza de casca de coco após moagem (CCC M) e das cinzas de bagaço de cana (CBCA IM e IIM) não possuem os requisitos necessários para que sejam caracterizadas como material pozolânico. Para o atendimento a norma seria necessário resultado IAP  $\geq$  90%, no entanto, os resultados das amostras foram: 28,26% (CCC M) e 58,41% (CBCA IM) e 46,44% (CBCA IIM).

### CONCLUSÕES

As amostras em questão, cinza de casca de coco (CCC) e as cinzas de bagaço de cana (CBCA I e II), apresentaram reação com a cal hidratada, no entanto, os resultados não foram congruentes em sua totalidade com as diretrizes da NBR 12653 (ABNT, 2014a), por atender aos requisitos químicos e não atender aos requisitos físicos, para a utilização como substituição parcial do cimento Portland.

Alguns fatores podem ter contribuído para o não alcance dos resultados, entre eles é possível citar:

a) A padronização da temperatura das cinzas deficitária, além da possível interferência de outros materiais que possam ter sido inseridos para geração de energia, durante a queima da biomassa em seus respectivos processos; b) As análises de composição química demonstraram que a CBCA II apresenta um teor elevado de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), 93,3%, em comparação ao CBCA I, cerca de 54,15%, esses resultados corroboram com as discussões realizadas nas análises de DRX, isto é, a forma de coleta das cinzas influenciaram diretamente no composição química e estrutura cristalina dos materiais estudados; b) Desta maneira, os requisitos físico não foram atendidos em sua totalidade, em especial para a resistência à compressão da cal aos 7 dias. A resistência é adquirida através dos produtos hidratados resultantes da reação entre o hidróxido de cálcio e a pozolana. Neste caso, mesmo que o material promova o efeito fíler, a sua contribuição na resistência mecânica não seria o suficiente para obter o resultado mínimo exigido. Vale ressaltar que a produção de CSH a partir da reação do  $\text{Ca(OH)}_2$  com a sílica da pozolana é mais significativa em idades mais avançadas, no entanto, foram obedecidos os tempos requeridos pela norma; c) De acordo com as características apresentadas pela CBCA e com base na literatura, é possível substituir em até 5% a areia por cinza na fabricação da argamassa para revestimento.

### REFERÊNCIAS

AMARAL, M. L.; LIMA, J.; ARAÚJO, F. W. C.; MIRANDA, L. F. R.; MELO NETO, A. A.. Análise da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar submetida a tratamento térmico. In: ENTAC - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14. *Anais*. Juiz de Fora, 2012.

ANIFOWOSHE, F. A.; NWAIWU, N. E.. The use of coconut fibre ash as a partial replacement for cement. *British Journal of Applied Science & Technology*, v.17, n.5, p.1-11, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2016/25926>

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12653**. Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11172**. Aglomerantes de origem mineral: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5751**. Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com a cal aos sete dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215**. Cimento Portland- Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5752**. Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16697**. Cimento portland composto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7214**. Areia normal para ensaio de cimento – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R.. Cinzas da queima de biomassa: aplicações e potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.6, 2015.

CANOVA, J. A.; MIOTTO, J. L.; DE MORI, L. M.. Avaliação de Argamassa Mista de Revestimento com Substituição da Areia Natural por Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar. **Ciência & Engenharia**, v.24, n.1, p.125-134, 2015.

CAREVIC, I.; BARICEVIC, A.; STIRMER, N.; BAJTO, J. S.; KRISTOVIĆ, K.. Potential use of wood biomass ash in cement composites. **Materials for Sustainable Future**, v.14, n.5, p.1250, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3390/ma14051250>

CASTRO, T. R.; MARTINS, C. H.. Caracterização das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material alternativo para redução de impactos ambientais. **MIX Sustentável**, v.2, n.1, p.12-19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2016.v2.n1.12-19>

GARCIA, E.; CABRAL JUNIOR, M.; QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F.. Avaliação da Atividade Pozolânica dos Resíduos de Cerâmica Vermelha Produzidos nos Principais Polos Ceramistas do Estado de S. Paulo. **Cerâmica**, v.61, n.358, p.251-258, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581847>

GUIMARÃES, C. C.; MATOS, S. R. C.. Utilização da cinza da casca do coco verde como substituição parcial do cimento Portland em argamassas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.13, n.1, p.251-269, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5216/reec.v13i1.41675>

LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A.. Estudo das características químicas e físicas da cinza da casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios. **Acta Scientiarum. Technology**, v.32, n.4, p.383-389, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581847>

MANSANEIRA, E. C.; SCHWANTES-CEZARIO, N.; BARRETO-SANDOVAL, G. F.; MARTINS-TORALES, B.. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic material. **Dyna**, v.84, p.163-171, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n201.61409>

TRIPATHI, N.; HILLS, C. D.; SINGH, R. S.; ATKINSON, C. J.. Waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. **Climate and Atmospheric Science**, n.35, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0093-5>

SANTOS, G. Z. B.; MELO FILHO, J. A.; MANZATO, L.. Perspectivas de aplicações tecnológicas de lodo gerado no processo de tratamento de água dos rios Negro e Solimões. **Revista Matéria**, v.23, n.3, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0501>

SOUZA, V. H. A.; SANTOS, L. T.; PAGEL, U. R.; SCARPATI, C. B. L.; CAMPOS, A. F.. Aspectos sustentáveis da biomassa como recurso energético. **Revista Augustus**, v.20, n.40, p.105-123, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.15202/19811896.2015v20n40p105>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenera Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.