

# APROVEITAMENTO DE CINZAS DE MADEIRA NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA

Giorgia Baseggio Strieder<sup>1</sup>  
Carlos Alberto Mucelin<sup>2</sup>  
Gustavo Savaris<sup>3</sup>

## RESUMO

Dentre os resíduos da produção industrial destacam-se as cinzas, decorrentes da necessidade de produção de energia e vapor com o uso de caldeiras térmicas. Segundo a legislação ambiental vigente, cabe aos geradores a correta destinação destes resíduos industriais, visando a sustentabilidade ambiental. Este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa experimental cujo objetivo foi avaliar o emprego das cinzas produzidas em uma unidade agroindustrial na produção de blocos de concreto para pavimentação intertravada. Os blocos de concreto foram fabricados pelo processo de vibro-compactação utilizando a cinza como adição na mistura de concreto nas proporções de 0%, 5%, 10%, 20% e 40% da massa de cimento. Nas idades de 7, 14 e 28 dias os blocos foram submetidos ao ensaio de compressão, sendo nesta última idade também determinadas as taxas de absorção de água. Os resultados demonstraram a potencialidade de reutilização da cinza como adição na produção de blocos de pavimentação intertravada, com aumento da resistência à compressão para adições em teores de 5% e 10% quando comparados com os blocos sem adição de cinzas e a redução da absorção de água.

**Palavras-chave:** Concreto; Pavimentação; Blocos; Sustentabilidade; Cinzas; Resíduo.

## USE OF WOOD ASH TO PRODUCE INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT BLOCKS

### ABSTRACT

Among the waste from industrial production, ash stands out, resulting from the need to produce energy and steam using thermal boilers. According to current environmental legislation, generators of residues are responsible for their final disposal, aiming for environmental sustainability. This work presents the results from an experimental research, whose objective was to evaluate the use of ash produced in an agro-industrial unit for the production of concrete blocks for interlocking paving. The concrete blocks were manufactured using the vibro-compactation process, using ash as an addition to the concrete mix in proportions of 0%, 5%, 10%, 20%, and 40% of the cement mass. At the ages of 7, 14, and 28 days, the compressive strength of the blocks was evaluated, and water absorption rates were also determined at this last age. The results demonstrated the potential for using ash as an addition in the production of interlocking paving blocks, with an increase in compressive strength for additions at levels of 5% and 10%, when compared to blocks without added ash, and a reduction in their water absorption.

**Keywords:** Concrete; Pavement; Blocks; Sustainability; Ash; Residue.

Recebido em 29 de setembro de 2023. Aprovado em 29 de fevereiro de 2024

<sup>1</sup> Mestranda em Recursos Naturais e Sustentabilidade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Santa Helena, gibaseggio@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Titular, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Santa Helena, mucelin@utfpr.edu.br

<sup>3</sup> Professor Adjunto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo, gsavaris@utfpr.edu.br

## INTRODUÇÃO

No início da terceira década do século XXI é possível observar que a exploração de recursos naturais e as alterações ambientais oriundas das ações existenciais humanas, em especial as provocadas pelas atividades da indústria, concomitantemente ao desenvolvimento tecnológico, despertam relevantes preocupações com a preservação do ambiente, com destaque aos princípios de sustentabilidade.

Rodrigues e Henkes (2018) enfatizam que as empresas devem buscar constantemente métodos que causem menores impactos ao meio ambiente. A crescente industrialização implica no aumento da geração de resíduos, os quais muitas vezes são responsáveis pelos denominados impactos e passivos ambientais. Altoé, Sales e Martins (2019) destacam a responsabilidade das indústrias no que se refere aos resíduos sólidos e ressaltam que elas devem responder por seus produtos até o descarte final com destino correto no ambiente. Neste sentido, Alcântara (2019) enfatiza que no âmbito industrial, a construção civil é um setor auspicioso para empregar resíduos como fonte de matéria-prima.

Nos processos da agroindústria, a energia térmica é fundamental e pode ser gerada de diferentes formas, entre elas destaca-se a queima de biomassa, que resulta em cinzas, as quais podem ser utilizadas como insumo ou agregado na construção civil, atendendo os pressupostos da sustentabilidade quando se considera determinados aspectos ambientais. Para Candido (2018) tal alternativa é concebida como uma estratégia direta de redução da emissão de gases que contribuem para o aquecimento atmosférico, pois, além de proporcionar uma destinação para o resíduo, reduzem a necessidade de extração de recursos naturais para a constante demanda da construção civil no Brasil e no mundo.

Além de constituir uma adição de destaque, a inserção de cinzas no concreto pode ser considerada como uma medida alternativa que ajuda a minimizar e controlar as alterações ambientais relevantes, algumas geradas pelo transporte e posteriormente pelo depósito do resíduo no pátio da empresa ou em área exclusiva utilizada para destinação mesmo (CANDIDO, 2018). De acordo com Soares et al. (2019), os altos custos de estocagem e a necessidade de grandes áreas para armazenagem desses resíduos tem motivado o desenvolvimento de alternativas que sejam técnicas, ambientais e economicamente viáveis para o descarte das cinzas

Devido à similaridade com o cimento Portland, para Altoé, Sales e Martins (2019) a utilização da cinza passou a ser tratada como benéfica. A queima da mistura em fornos, além da geração do vapor, produz aproximadamente 30% de resíduo, denominados de cinzas de queima da biomassa.

Silva, Barroso e Cabral (2020) ao avaliar a incorporação de cinzas pesadas de uma usina termelétrica em blocos de concreto destinados a pavimentação, concluíram que as cinzas em pavimentos intertravados apresentam potencial explorador para comercialização e apresentam valores de absorção dentre dos padrões normativos.

Iacks et al. (2019) e Pinz et al. (2020) escolheram traços alternativos com incorporação de cinzas de casca de arroz (CCA) em substituição ao cimento Portland. Os autores analisaram as características físicas e mecânicas e obtiveram resultados satisfatórios para a incorporação de resíduos em até 5%. Resultados similares também foram apresentados por Camelo e Alcântara (2018) quando os autores optaram pelas cinzas de carvão mineral com teores de substituição que variaram entre 7,5% e 15% e concluíram que a substituição parcial do cimento por cinza pode ser feita, porém em teores baixos.

Soares et al. (2019) apontam que a incorporação de cinzas leves resultantes da queima de carvão para geração de energia em substituição ao cimento é adequada. Para os *pavers* analisados em seus estudos, as massas de substituição do aglomerante variaram entre 25% e 75%. Os autores concluíram que, conforme a inserção de resíduos aumentava a resistência à

compressão das amostras diminuía independente da idade do concreto. Esses autores destacaram que os blocos, apesar de não apresentarem resistência mínima de norma, podem ser empregados em áreas de menor solicitação de carga.

Alcantara (2018) relatou o alto índice de geração de resíduos em uma usina termoeletrica no local de seu estudo e optou pela incorporação das mesmas na fabricação de blocos de concreto para pavimentação com teores entre 10% e 50% de cinzas pesadas de termoeletricas. A autora obteve como resultados valores de resistência a compressão inferiores ao que preconiza a norma brasileira, porém destacou ser possível aplicar em locais característicos de pequenas sobrecargas, além de ser uma possibilidade para o destino do elevado montante de resíduos da usina termoeletrica.

Este artigo apresenta o resultado de uma pesquisa experimental cujo objetivo principal foi estudar a incorporação do resíduo de cinza da queima de madeira, produzido em uma unidade agroindustrial, na produção de blocos de concreto pré-fabricados, com a avaliação de propriedades físicas e mecânicas destes blocos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo teve como propósito avaliar o emprego da cinza, gerada em uma unidade agroindustrial localizada no oeste do Paraná-Brasil na produção de blocos de concreto para pavimentação intertravada. O resíduo estudado foi produzido pela queima de cavacos de eucalipto e peletizado de pinus em uma caldeira industrial automatizada a uma temperatura que varia entre 150°C e 160°C.

### Materiais e composição do concreto

A partir do traço de concreto utilizado por uma indústria de artefatos de concreto, denominado de T1, com proporção de materiais em massa igual a 1:3:2,4 (cimento: agregado miúdo natural: agregado graúdo), e relação água/cimento igual a 0,5, foram definidas quatro composições de materiais com adição de cinzas, em teores correspondentes a 5%, 10%, 20% e 40% da massa de cimento. Estas composições foram denominadas com a letra D seguida de dois números, os quais correspondem ao percentual de adição de cinzas (D05, D10, D20 e D40).

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland tipo CP-II, como agregado graúdo rocha de origem basáltica, britada com dimensão máxima característica de 9,5 mm e massa específica igual a 2,88 g/cm<sup>3</sup>, e como agregado miúdo utilizou-se areia natural, extraída da bacia do rio Paraná, com módulo de finura igual a 2,08 e massa específica igual a 2,47 g/cm<sup>3</sup>.

### Moldagem dos corpos de prova

Para produção dos concretos os materiais secos (cimento, areia e brita) foram previamente misturados em um silo misturador, e em seguida inseridos em uma betoneira de eixo inclinável, quando então era adicionada água e realizada a mistura durante cinco minutos. Ressalta-se que durante a produção dos concretos dos tratamentos D20 e D40 a mistura apresentava consistência arenosa e, portanto, foi necessária a adição de água para reestabelecimento da trabalhabilidade dos concretos, caso contrário não seria possível uma adequada moldagem dos corpos de prova.

Utilizando o concreto produzido foram moldados corpos de prova em formas com formato de paralelepípedos, e dimensões iguais a 10 cm x 20 cm x 6 cm. As formas foram posicionadas sobre uma mesa vibratória (Figura 1) e o adensamento do concreto foi realizado durante um minuto, com propósito de eliminar vazios e falhas de concretagem.

**Figura 1** – Lançamento do concreto e preenchimento das formas.



Para cada composição foram produzidos 48 corpos de prova, totalizando 240 corpos de prova (*pavers*), os quais foram desmoldados após 24 horas (Figura 2) e, submetidos a um processo de cura ao ar até atingir as idades de ensaio.

**Figura 2** – Paver moldado com dimensões 10cm x 20cm x 6cm.



### **Ensaio de caracterização física e mecânica**

Os corpos de provas foram submetidos a ensaios de resistência à compressão e a absorção de água, seguindo as recomendações da norma NBR 9781 (ABNT, 2013), nas idades de 7, 14 e 28 dias, considerando um planejamento estatístico experimental inteiramente casualizado.

Para avaliar a resistência à compressão foram escolhidos aleatoriamente 5 corpos de prova de cada tratamento para as idades de 7 e 14 dias e 8 corpos de prova para a idade de 28 dias. Na data que antecedia os ensaios de compressão os corpos de prova foram submersos em água para saturação.

Os ensaios de compressão foram realizados em uma prensa com capacidade de 300 kN, na qual o corpo de prova era posicionado centralizado entre duas placas circulares de aço, com diâmetro de 85 mm e espessura de 20 mm, de modo que a resultante das forças passasse pelo centro do bloco. O carregamento era aplicado continuamente, com velocidade de 550 kPa/s, até a ruptura da peça para o registro da resistência à compressão do bloco.

A resistência à compressão foi determinada dividindo-se a carga de ruptura pela área de carregamento, multiplicando-se o resultado pelo fator p, igual a 0,95, em função da altura da peça.

Para determinação da absorção de água os corpos de prova foram imersos em água à temperatura de  $(23 \pm 5)$  °C, por 48 horas, os quais então eram removidos da água, mantidos sobre uma tela metálica por 1 minuto para drenagem, e a umidade superficial removida com a utilização de um pano úmido. Os blocos então tinham suas massas mensuradas com o uso de uma balança analítica, registrando-se suas respectivas massas saturadas ( $m_2$ ). Em seguida os corpos de prova eram levados a uma estufa, com temperatura a  $(110 \pm 5)$  °C, e mantidos nesta condição por 48 horas, para então terem novamente as medidas de suas respectivas massas secas ( $m_1$ ). O valor da absorção de água de cada corpo de prova, em percentual, foi calculado utilizando a Equação 1.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

### **Análise dos resultados**

Os resultados obtidos foram submetidos à Análise de Variância - Anova, com nível de significância de 5%, para avaliar a existência de diferença significativa entre as médias dos tratamentos, e o teste de comparação de médias de Fisher.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Resistência à compressão**

Os resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova nas idades de 7, 14 e 28 dias de cura são apresentados na Tabela 1, com as respectivas médias e desvio padrão calculados.

A resistência à compressão média apresentou resultados similares nas idades de 7, 14 e 28 dias. Entretanto, observa-se o aumento da resistência a compressão em relação ao traço sem adição de resíduo (T1) quando adicionado 5% de cinzas e a redução da resistência quando a porcentagem de cinza adicionada ao concreto foi aumentada para as porcentagens 20 e 40%, como pode ser observado na Figura 3. Nos tratamentos referência e D05 observa-se que a resistência média à compressão na idade de 28 dias está levemente inferior àquela obtida aos 14 dias, ressalta-se que estas diferenças estão dentro do intervalo de confiança para, porém os autores recomendam a repetição destes ensaios com um número maior de exemplares visando confirmar esta hipótese.

A diminuição de resistência à compressão pela inserção de cinzas à matriz cimentícia também foi observada em estudos desenvolvidos por Iacks et al., (2019), quando incorporadas na mistura as cinzas de casca de arroz em duas proporções: 5 e 10%. De acordo com Alcantara (2018), as cinzas possuem características favoráveis para absorver maiores proporções da água de amassamento do concreto e reduzir a porção de água disponível para hidratação do cimento. Desta forma, o resultado obtido pode indicar a existência de água em excesso no traço inicial, sendo absorvida pela cinza adicionada, porém para elevados teores de cinza a água adicionada à mistura não foi suficiente para hidratação do cimento.

Almeida et al. (2015) e Salgado (2018) relatam que, conforme ocorre a inserção de cinzas, com módulo de finura e área superficial inferior ao cimento, faz-se necessário adicionar mais água à mistura de modo que a trabalhabilidade da massa permaneça inalterada. Isto justifica o acréscimo de água para os tratamentos de D20 e D40 que foi realizado nesse estudo. Entretanto, a adição de água durante a etapa de produção do concreto, para garantir a

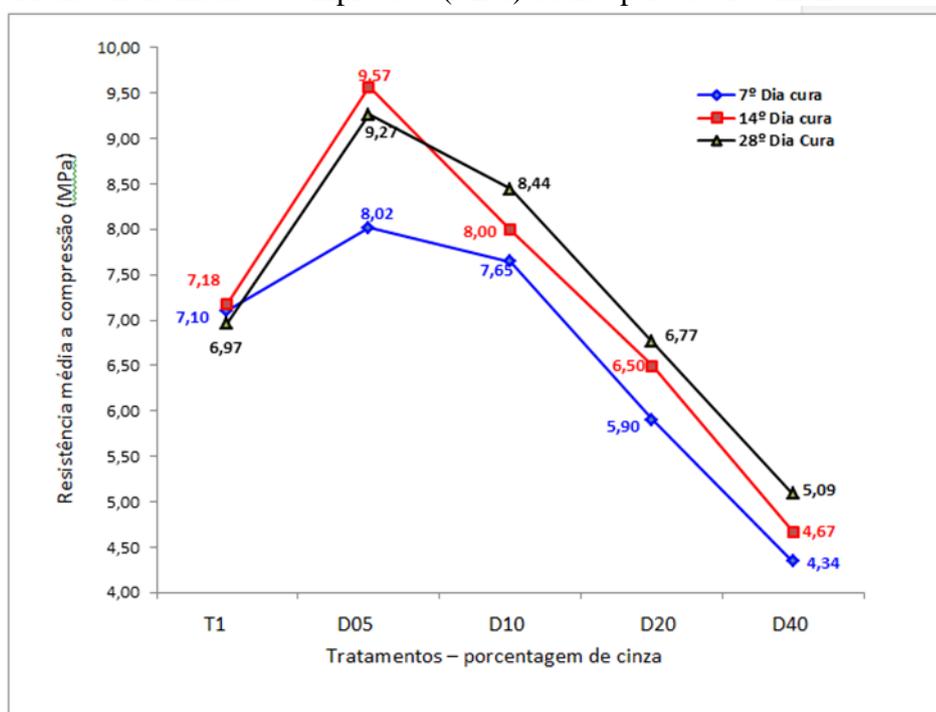
trabalhabilidade deste e possibilitar a moldagem dos blocos, resultou em alteração da relação água/cimento que está inversamente relacionada à resistência à compressão do concreto. Este efeito foi observado também nos resultados dos ensaios de absorção e será discutido no item seguinte.

**Tabela 1** – Resultados dos ensaios de compressão nas idades 7, 14 e 28 dias.

Tratamento	Resistência à compressão (MPa)			
	7 dias	14 dias	28 dias	
T1	7,95	7,32	6,60	
	8,73	7,13	6,99	
	6,78	7,85	6,57	
	6,53	7,16	6,91	
	5,52	6,42	6,78	
			6,50	
			7,88	
			7,50	
			6,966	
			0,488	
Média (MPa)	7,10	7,18	6,966	
Desvio padrão (MPa)	1,255	0,512	0,488	
D05	7,02	9,01	8,72	
	8,92	10,44	9,42	
	7,56	10,24	10,18	
	8,07	8,65	8,49	
	8,52	9,49	9,21	
			9,81	
			8,82	
			9,47	
	Média (MPa)	8,02	9,57	9,265
	Desvio padrão (MPa)	0,754	0,770	0,573
D10	7,78	7,61	9,11	
	8,44	7,89	8,20	
	6,94	7,95	8,65	
	7,73	8,00	8,70	
	7,35	8,53	7,81	
			8,11	
			9,11	
			7,84	
	Média (MPa)	7,65	8,00	8,441
	Desvio padrão (MPa)	0,557	0,335	0,526
D20	5,45	6,53	6,96	
	6,02	6,50	6,89	
	5,98	6,53	6,38	
	6,23	6,91	6,74	
	5,83	6,02	7,10	
			6,82	
			6,75	
			6,48	
	Média (MPa)	5,90	6,50	6,765
	Desvio padrão (MPa)	0,290	0,316	0,239
D40	4,50	4,40	5,26	
	4,50	4,90	5,48	
	4,19	4,84	4,85	
	3,94	4,60	5,16	
	4,58	4,59	4,81	
			5,03	
			5,33	

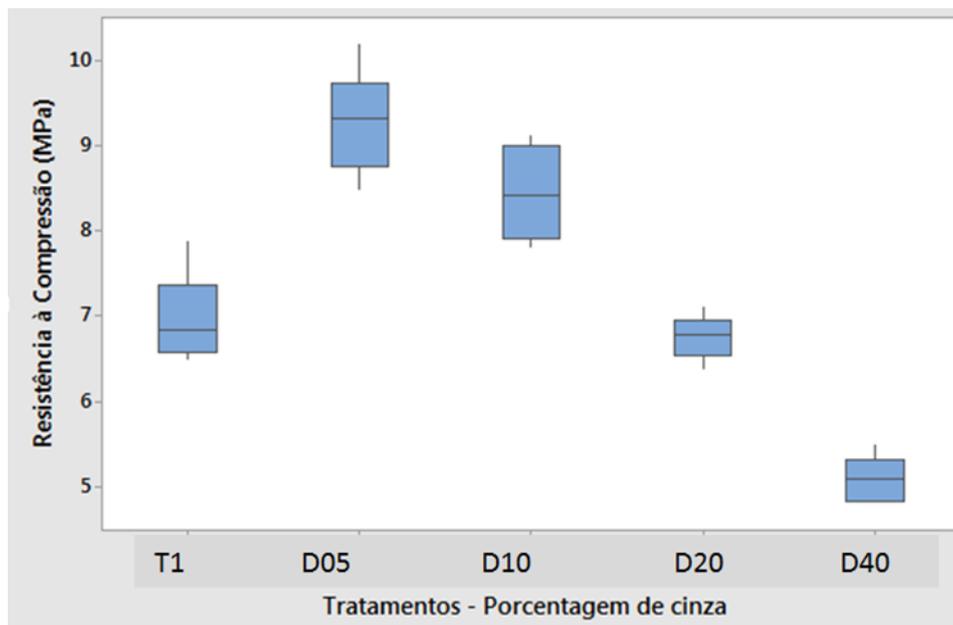
			4,81
Média (MPa)	4,34	4,67	5,091
Desvio padrão (MPa)	0,270	0,204	0,257

**Figura 3** – Resistência média à compressão (MPa) obtida para os tratamentos.



De acordo com a norma NBR 9781 (ABNT, 2013), a idade de referência para classificação dos blocos de pavimentação quanto sua resistência à compressão dos blocos intertravados é de 28 dias. O gráfico boxplot para as resistências dos tratamentos em estudo apresentado na Figura 4 indica baixa variabilidade e um comportamento próximo a distribuição simétrica para os tratamentos em estudo para todos os dados e, menor variabilidade nos tratamentos 20 e 40% de inserção de cinza.

**Figura 4** – Gráfico *boxplot* dos valores da resistência à compressão (MPa) na idade de 28 dias de cura.



Para avaliar se houve diferença significativa entre as médias de resistência à compressão registradas nos testes de laboratório foi realizada uma análise de variância (Anova), com nível de 5% de significância, cujos resultados estão registrados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Análise de variância da resistência à compressão.

Causa	GL	Soma Quad.	Quad. Médio	F
Tratamentos	4	83,518	20,8794	108,11
Erros	35	6,759	0,1931	
Total	39	90,277		

O valor de F calculado na Anova é de 108,11 o que revela que há uma diferença altamente significativa de médias. Como o valor de P da Anova é  $P=0,000 < 0,05\%$ , rejeita-se  $H_0$  ao nível de 5% de significância. Para verificar quais tratamentos diferem ou são iguais estatisticamente, dois a dois, utilizou-se o teste de comparação de média de Fisher. Os resultados estão apresentados na Tabela 3, na qual médias seguidas de letras iguais significam médias estatisticamente iguais.

**Tabela 3** – Teste de comparações de médias de Fisher.

Tratamento	Número de amostras	Média
T1	8	6,966c
D05	8	9,265a
D10	8	8,441b
D20	8	6,765c
D40	8	5,091d

Obs.: letras iguais significam médias estatisticamente iguais.

O resultado do Teste de comparação de médias de Fisher registrado na Tabela 3 revela que as médias de resistência a compressão dos tratamentos T1 (sem cinza) e 20% de inserção de cinza são estatisticamente iguais ao nível de 5% de significância. As demais, ou seja, as médias de resistência a compressão para 5%, 10%, 40% de inserção de cinzas são

estatisticamente diferentes a esse nível entre eles e em relação à média dos tratamentos T1 e 20% de inserção de cinza.

Confirma-se assim que a adições de cinzas em teores de 5% e 10% em relação à massa de cimento resultaram em aumento da resistência à compressão dos blocos intertravados, enquanto adições acima de 10% resultam em redução da resistência em relação ao traço de concreto sem cinzas.

### Absorção de água

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos testes de absorção de água das amostras para os tratamentos deste experimento, com suas respectivas médias e desvio padrão.

A absorção média de água nos blocos de concreto dos tratamentos D05 e D10 apresentou valores inferiores ao tratamento de referência, enquanto nos tratamentos D20 e D40 as médias foram ligeiramente superiores.

Dentre os tratamentos com adição de cinzas observa-se uma redução da absorção de água para o tratamento D05 e um aumento desta para elevados teores de adição. Na concepção de Salgado (2018), o fato da cinza em questão ser extremamente fina, similar ao cimento, ela preenche parcialmente os poros menores entre os agregados, podendo ter gerado uma maior compactação e redução dos poros do concreto com adição de 5% de cinzas, o que justifica a maior resistência à compressão deste tratamento. Entretanto, nos tratamentos D10, D20 e D40 observou-se o aumento da absorção de água, o que indica que a adição de uma maior quantidade de água para garantir a trabalhabilidade resultou em maior porosidade do concreto, reduzindo a resistência à compressão.

**Tabela 4** – Absorção de água em cada tratamento.

Tratamento	Absorção de água (%)	Absorção média (%)	Desvio padrão (%)
T1	9,60	9,38	0,188
	9,27		
	9,28		
D05	8,11	7,96	0,132
	7,91		
	7,86		
D10	9,05	9,02	0,052
	8,96		
	9,05		
D20	9,95	9,99	0,038
	10,02		
	10,01		
D40	12,11	11,08	0,266
	11,64		
	11,66		

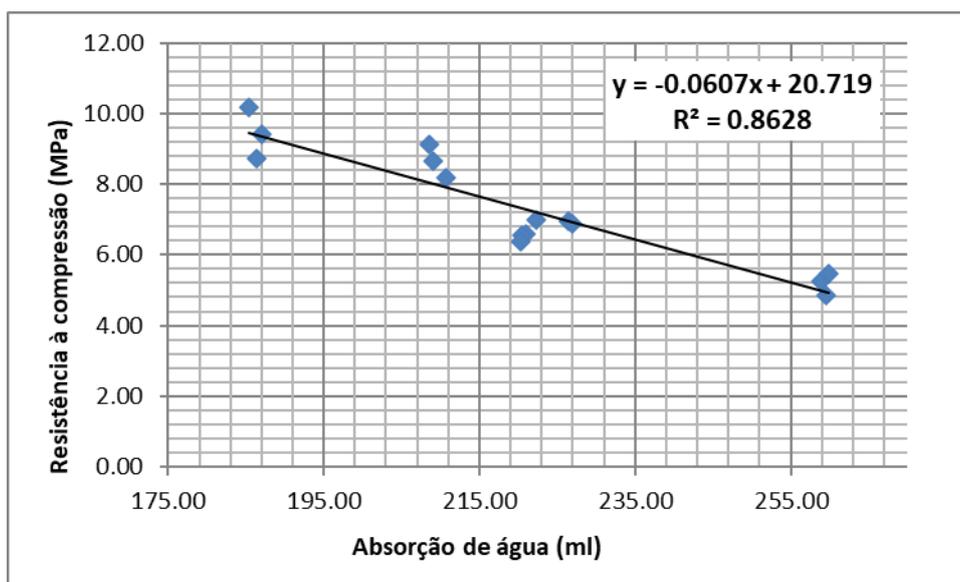
Aumentar a proporção de água na confecção dos artefatos de cimento quando se utiliza um determinado traço, na concepção de Salgado (2018), pode favorecer o aumento da porosidade durante o período de cura, e conseqüentemente nos valores de absorção de água do material. Isto foi verificado nos tratamentos D20 e D40, especialmente quando se compara as médias de absorção de água em relação ao tratamento de referência. (9,38%).

## Correlação entre a resistência à compressão e a absorção de água

Considerando que a absorção de água está diretamente relacionada ao maior número de poros e conseqüente maior volume de vazios no concreto, o que resulta em redução da resistência à compressão do material, foi avaliada a correlação entre estes dois fatores.

Na Figura 5 são apresentados os resultados de resistência à compressão relacionados com os respectivos teores de absorção de água dos tratamentos avaliados, nos quais se observa a redução da resistência à compressão com o aumento da taxa de absorção de água do material.

**Figura 4** – Correlação entre absorção de água e resistência à compressão



Para avaliar e mensurar essa correlação, a Equação 2 foi estabelecida a partir dos dados experimentais.

$$y = -0,0607 x + 20,719 \quad (2)$$

O modelo de regressão linear proposto na Equação 2 tem coeficiente angular negativo o que confirma o comportamento decrescente da variável dependente, resistência à compressão, quando a variável independente, absorção de água, aumenta. A taxa de variação é a derivada primeira e constante, nesse caso igual a -0,0607. O Coeficiente de determinação  $R^2=0,8628$  revela a “confiabilidade” do modelo de regressão em estabelecer previsão e calibração entre as variáveis em questão. Já o coeficiente de Pearson em módulo é de  $r = 0,9289$  o que revela uma elevada correlação entre as variáveis resistência e absorção de água no estudo realizado.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos em um programa experimental em que cinzas de madeira oriundas da caldeira de uma agroindústria foram adicionadas ao concreto, para produção de blocos de pavimentação intertravada demonstram que adições em teores de 5% e 10% em relação à massa de cimento resultam em aumento da resistência à compressão dos blocos.

Para o teor de adição de 20% de cinzas ao concreto os resultados obtidos foram estatisticamente iguais aos do concreto de referência, demonstrando sua viabilidade como forma de destinação das cinzas, porém sem haver melhora desta propriedade mecânica,

enquanto a adição de 40% não se mostrou viável, resultando em redução da resistência em relação ao traço de concreto sem cinzas.

Considerando que a absorção de água está diretamente relacionada à quantidade de poros no concreto, os quais reduzem sua resistência à compressão, justifica-se o aumento de resistência dos blocos com adição de cinzas em até 10% em relação ao tratamento de referência com a correlação linear decrescente da resistência à compressão com absorção de água, comprovado pelo coeficiente de Pearson ( $r = 0,9289$ ).

Por fim, o estudo revelou a potencialidade de reutilização da cinza como adição na produção de *pavers*, indicando uma alternativa ambiental e economicamente importante para o resíduo produzido pela unidade agroindustrial participante, uma vez que pode contribuir para a diminuição de impactos e de passivos ambientais negativos.

## REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M. R. G. de 2018. **Estudo da utilização de cinzas pesadas de termelétrica para produção de blocos de concreto para pavimentos intertravados**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ALMEIDA, F. C.R.; SALES, A.; MORETTI, J.P; MENDES, P.C.D 2015. Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar. **Construction and Building Materials**. v.82. p. 31-38.

ALTOÉ, S. P. S.; SALES, A.; MARTINS, C.H 2019. Resíduos de pneus e da queima do bagaço da cana-de-açúcar na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (*pavers*). **Ibracon de Estruturas e Materiais**. v.12. n.3 p. 608-637.

ARAÚJO JÚNIOR, C. C. de; RONDON, O. C.; JESUS-LOPES, J.C.; SANTOS, L. M. R 2018. Cinzas de biomassa na indústria da construção civil: estudo bibliométrico. **CIATEC**. v. 10, n.2. p. 91 – 101.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2013. **ABNT NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro.

CAMELO, P. R. M.; ALCÂNTARA, P. B 2019. Avaliação de *pavers* com adição de cinza de carvão mineral oriunda de termelétrica da região metropolitana de Fortaleza. **In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio Grande do Norte.

CANDIDO, C. S 2018. **Utilização de cinzas volantes de carvão mineral em construção civil**. 2018. Trabalho (Pós-Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Ceará.

CARVALO, W. C.; NUNES, G. S.; VASCONCELOS, N. S. L.S 2018. Remediação de impactos ambientais através de reaproveitamento de cinzas: um estudo do caso de uma usina térmica em São Luís - MA. **Tecnologia e Sociedade**. v. 14, n. 33. p. 206-225.

COSTA, A. C. L. A 2019. **Caracterização físico-química da biomassa de tocos e raízes de clones de eucalipto para fins energéticos**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CARVALHO FILHO, M. de; PIMENTEL, M. S.; BERTINO, R. M. J.; OLIVEIRA, A. R. de L 2018. Índice de sustentabilidade empresarial: Uma análise acerca da evidenciação do passivo ambiental. **Ambiente Contábil**. v. 10, n.1. p. 104 – 120.

HOPE FILHO, J.; GOBBI, A.; PEREIRA, E.; QUARCIONI, V. A.; MEDEIROS, M. H. F 2017. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I): índice de Atividade pozolânica (IAP) com cal, difração raio-X (DRX), termogravimetria (TG/DTG) e Chapelle modificado. **Matéria**. v. 22, n. 3. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170003.0206>

IACKS, J.A; OLIVEIRA, L. J.; PADILHA, S. A.; GONÇALVES, M. R. F 2019. Propriedades tecnológicas de blocos de concreto com cinza de casca de arroz destinados a pavimentos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**. V.6, n.1, jul. <https://doi.org/10.15210/rbes.v6i1.14410>

LEAL, C. E. F 2018. **Peças para pavimento intertravado de concreto: estudo de viabilidade técnica na incorporação de agregado reciclado**. 2018. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.M 2014. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Ibracon,. 782 p.

PINZ, F. P.; PADILHA, S. A.; PALIGA, C. M.; TORRES, A. da S 2019. Utilização de resíduos de CCA no traço de concreto para fabricação de blocos pré-moldados. In: II ENCIF, 2019, Bagé. **Anais do II Encontro de Ciência e Tecnologia do IFSul Campus Bagé**, Rio Grande do Sul.

RODRIGUES, L. S.; HENKES, J. A 2018. Gerenciamento de Resíduos Sólidos em uma Indústria Têxtil. **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. v.7. n.1. p.700-744. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e12018700-744>

SALGADO, L.de M 2018. **Blocos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de mineração e cinzas de bagaço de cana de açúcar**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, W. B. C.; BARROSO, S. H. A.; CABRAL, A. E. B 2020. Avaliação da aplicação de cinzas pesadas de termelétricas em blocos intertravados de concreto para pavimentos. **Matéria**. v. 25, n. 1. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0895>

SOARES, L. F.; RODRIGUES, A. L. N.; SOARES, J. B.; BASTOS, J. B. dos S 2019. Incorporação de elevados percentuais de cinzas leves em substituição ao cimento para uso em intertravados. In: 33° ANPET, nov. 2019, Balneário Camboriú. **Anais do 33° ANPET – 33° Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**, Santa Catarina. p. 1926-1937.