

# AVALIAÇÃO DO USO DA CINZA VOLANTE DE USINAS TERMOELÉTRICAS À BASE DE BIOMASSA (CVB) COMO ADIÇÃO MINERAL NO CONCRETO

Karla Cristina Bentes Moreira (UFT) E-mail: [kaarlamoreira@gmail.com](mailto:kaarlamoreira@gmail.com)

Renato Baiocchi Alves Veronese (UFT) E-mail: [renatobaiocchi@gmail.com](mailto:renatobaiocchi@gmail.com)

Shara Carvalho Lopes (UFT) E-mail: [shara\\_cl@hotmail.com](mailto:shara_cl@hotmail.com)

Murilo Elias Rosa do Carmo (UFT) E-mail: [muriloerc08@uft.edu.br](mailto:muriloerc08@uft.edu.br)

Juan Carlos Valdés Serra (UFT) E-mail: [juancs@uft.edu.br](mailto:juancs@uft.edu.br)

**Resumo:** A proposta do presente trabalho avalia o reaproveitamento das Cinzas Volantes de Biomassa (CVB), provenientes de usinas termoeletricas, na produção de concreto, como substituto parcial ao cimento Portland. Os materiais escolhidos foram as cinzas volantes de biomassa formada por lascas de madeira, combustível de óleo de palma, casca de arroz e bagaço de cana. A metodologia consistiu em uma revisão literária para reunir dados e analisá-los, a fim de verificar a viabilidade técnica da utilização dos resíduos. A primeira parte do trabalho consistiu na avaliação das características físicas e químicas das CVB e, em seguida, foram analisados os resultados dos ensaios de resistência à compressão nos traços de concreto, a fim de verificar a influência das cinzas no concreto. Os estudos mostraram que a substituição de 10% e 20% de cimento Portland pelas cinzas de casca de arroz e bagaço da cana, respectivamente, apresentaram melhores valores no aumento da resistência à compressão em relação ao concreto referência.

**Palavras-chave:** Agroenergia, cinza volante, biomassa, adição mineral, concreto.

## EVALUATION OF THE USE OF BIOMASS-BASED THERMAL POWER PLANT'S FLY ASH (BFA) AS MINERAL ADDITION IN CONCRETE

**Abstract:** The proposal of the present work evaluates the reuse of Biomass Fly Ash (BFA) from thermoelectric plants, in concrete production, as partial substitute for Portland cement. The materials selected were biomass fly ash formed by wood chips, palm oil fuel, rice husk and sugarcane bagasse. The methodology consisted in a literary review to collect and analyze data to verify the technical feasibility of the use of waste. The first part of the work consisted in the evaluation of physical and chemical characteristics of the BFA and then the results of compressive strength tests in concrete traces were analyzed in order to verify the influence of the ashes in concrete. The studies showed that the replacement of 10% and 20% of Portland cement by the ashes of rice husk and sugarcane bagasse, respectively, presented better values in the increase of compressive strength in relation to the reference concrete.

**Keywords:** Agroenergy, fly ash, biomass, mineral addition, concrete.

### 1. Introdução

A busca por melhorias nas características físicas e mecânicas do concreto, sem a presença de impactos ambientais negativos, é a principal ação vista na construção civil. Com isso, a utilização de resíduos pozolânicos de outros materiais capazes de substituir parcialmente o cimento na mistura de concreto vem sendo visada (SCHNEIDER *et al.*, 2011; DAMINELI *et al.*, 2013). Na maioria das vezes, a produção de adições pozolânicas gera alto consumo energético, devido à necessidade de atingir o ponto exato em que ocorrerá atividade pozolânica (TANG *et al.*, 2014).

As cinzas volantes já possuem seu espaço no comércio, sendo que, além da alta reatividade

pozolânica, podem apresentar características cimentantes, dependendo do teor de CaO em sua composição (SIQUEIRA *et al.*, 2012; MEHTA; MONTEIRO, 2008). Além disso, pode-se observar a presença de partículas finas sem a necessidade de realizar a moagem do material (NUNES *et al.*, 2016). Porém, diferente das cinzas volantes provenientes da incineração do carvão de usinas termoeletricas, ainda existem tipos de cinzas que não foram totalmente estudadas, como a proveniente da queima de biomassa (CVB) (ALTHEMAN *et al.*, 2017).

A norma NBR 12653 (ABNT, 2014) define os materiais pozolânicos como silicosos que possuam pouca ou nenhuma atividade cimentante. Porém, na presença de água e de hidróxido de cálcio (CH), as partículas de SiO<sub>2</sub> reagem com o último, formando partículas de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), responsável pela resistência do concreto. Com isso, quando há a presença de pozolana na mistura de concreto, é possível observar aumento na resistência mecânica, além da redução da quantidade de cimento utilizada (ZERBINO *et al.*, 2011).

A NBR 12653 (ABNT, 2014) também define as diferentes classificações para as pozolonas: classe N (origem vulcânica e às vezes artificial originados de subprodutos industriais), classe C (cinzas volantes provenientes de termoeletricas) e classe E (outras pozolanas). Para que o material seja considerado pozolânico alguns requisitos devem ser levados em conta, dependendo do tamanho das partículas, da composição química, teor de umidade, quantidade de água requerida e do índice de atividade pozolânica com o cimento aos 28 dias.

Com a incineração dos diferentes tipos de biomassa, utilizados como fonte de energia nas usinas termoeletricas, é gerada a Cinza Volante de Biomassa (CVB), que possui características pozolânicas. Dentre os materiais que podem estar presentes nas diferentes biomassas, são encontrados: lascas de madeira de pinho, pelotas de madeira, palha de grama, palha de algodão, palha de trigo, bagaço da cana de açúcar, casca de arroz, óleo de palma, casca e núcleo de oliva e castanha (KUMAR *et al.*, 2015).

Atualmente, no Brasil, tem-se adotado a utilização de cinzas volantes para a produção de cimento Portland, principalmente na região sul, onde se localizam as principais usinas termoeletricas do país (NUNES *et al.*, 2016). As cinzas volantes produzidas já são bem conhecidas, entretanto a CVB não possui exatamente as mesmas características, levando à necessidade de avaliar o potencial deste resíduo (RAMOS, 2011). Foi constatado, ainda, que o rendimento de produção de CVB é de aproximadamente 10% da massa total de matéria prima utilizada nas usinas à base de biomassa (MONTINI, 2009).

No concreto, na maioria das vezes, é possível perceber a diminuição da trabalhabilidade quando é adicionada uma pozolana, sendo necessário o aumento da utilização de água na mistura (NAAMANE *et al.*, 2016); contudo, mantida uma relação água/aglomerantes, um aumento na resistência pode ser verificado a longo prazo (dependendo do teor de substituição), tendo em vista que as reações pozolânicas são lentas, com menos geração de calor (RAJAMMA *et al.*, 2015; MASCHIO *et al.*, 2011; KAMINSKAS; CESNAUSKAS, 2014).

## 2. Materiais e métodos

A metodologia para a produção deste artigo foi desenvolvida através da consulta de diferentes trabalhos, com diferentes autores, referentes ao tema proposto. Assim, os materiais analisados e os ensaios realizados foram definidos e apresentados, levando em consideração as ideias de todos os autores consultados.

### 2.1. Avaliação das características da cinza volante de biomassa

As caracterizações apresentadas foram referentes a vários tipos de cinzas volantes, provenientes da queima de diferentes tipos de biomassa: lascas de madeira (MASCHIO *et al.*,

2011; DEMIS *et al.*, 2014; BERRA *et al.*, 2015), casca de arroz, óleo de palma, bagaço da cana de açúcar (DEMIS *et al.*, 2014) e castanha (BERRA *et al.*, 2015).

Para a caracterização física dos diferentes tipos de CVB em questão, foram levados em conta os valores de massa específica. Para fins de cálculo de dosagem esses valores se fazem necessário, e os ensaios estão descritos tanto na norma NBR NM 23 (ABNT, 2001) quanto nas normas ASTM C127 (2015) e C128 (2015).

A caracterização química das CVB consistiu nos ensaios de Fluorescência de Raios-X (XRF), a fim de verificar os óxidos presentes. A partir desses ensaios é possível verificar a quantidade de SiO<sub>2</sub>, responsável pela atividade pozolânica, e CaO, responsável pela característica cimentante.

## 2.2. Análise da influência da cinza nas características do concreto

Para as amostras de concreto com substituição de cimento por CVB, foram utilizados os seguintes teores: 5, 10, 15, 20, 25, 30%. Com as misturas de concreto, ainda no estado plástico, foi realizado o slump test (ensaio descrito na norma NBR NM 67 (ABNT, 1998) para cada amostra, a fim de avaliar a trabalhabilidade dos concretos; posteriormente, foram moldados corpos de prova para realização dos ensaios de resistência à compressão (ensaio descrito na norma NBR 5739 (ABNT, 2007) aos 7, 28 e 91 dias de cura.

Com os resultados, foi realizado um comparativo entre os concretos com diferentes teores de substituição de cimento por CVB, a fim de avaliar a viabilidade técnica da utilização dessa cinza como adição mineral.

## 3. Resultados e discussões

A seguir são expostos os resultados dos autores pesquisados e foram analisados a fim de sintetizar e organizar os dados, possibilitando uma comparação dos objetos de estudo e linhas de pesquisas desenvolvidas sobre o tema. Foi realizado um estudo em relação às características das CVB e à influência das cinzas no comportamento do concreto.

### 3.1. Caracterização das cinzas volante de biomassa

Na Tabela 1, é possível observar os valores de massa específica das diferentes cinzas volantes de biomassa (lascas de madeira, casca de arroz, combustível de óleo de palma e bagaço da cana), através dos diversos autores consultados.

Tabela 1 – Valores de massa específica para as amostras de CVB.

Características físicas	Cinzas volantes de biomassa							
	Lascas de madeira		Casca de Arroz		Combustível de Óleo de Palma		Bagaço da Cana	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,13	2,35	2,2	2,15	2,53	1,81	1,85	2,08
Autores	Demis et al. (2014)	Berra et al. (2015)	Demis et al. (2014)	Soares et al. (2015)	Demis et al. (2014)	Ranjbar et al. (2016)	Demis et al. (2014)	Gar et al. (2017)

Nota-se que todos os tipos de cinza possuem massa específica inferior ao cimento Portland, que apresenta valores mais comuns entre 2,8 e 3,2 g/cm<sup>3</sup>. Essa redução na massa específica das cinzas pode estar relacionada na alta porosidade presente, o que pode influenciar negativamente nas características de trabalhabilidade do concreto estudado.

A composição química das cinzas é apresentada na Tabela 2, sendo obtida pelos autores

estudados através do ensaio de Fluorescência de Raios-X, e mostrados através dos percentuais de óxidos presentes nos materiais.

Tabela 2 – Composição química das amostras de CVB.

Óxido (%)	Cinzas volantes de biomassa							
	Lascas de madeira		Casca de Arroz		Combustível de Óleo de Palma		Bagaço da Cana	
SiO <sub>2</sub>	31,8	36,44	87,0	93,18	55,50	64,17	64,2	69,94
CaO	10,5	23,76	1,25	0,48	12,40	5,80	8,14	2,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,0	8,96	1,08	0,1	9,20	3,73	9,05	3,34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,64	6,39	2,58	0,1	5,60	6,33	3,6	1,25
MgO	-	3,52	-	-	-	4,87	-	6,68
SO <sub>3</sub>	0,45	4,68	0,09	-	2,30	0,72	-	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62,44	51,79	90,66	93,38	70,30	74,23	76,85	74,53
Autores	Demis et al. (2014)	Berra et al. (2015)	Demis et al. (2014)	Soares et al. (2015)	Demis et al. (2014)	Ranjbar et al. (2016)	Demis et al. (2014)	Gar et al. (2017)

A NBR 12653 (ABNT, 2014) prevê que, para que o material seja considerado pozolânico, a somatória dos óxidos silicato, aluminato e férrico (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) devem ser maior ou igual a 70% dos óxidos presentes. É possível observar que apenas as amostras de CVB provenientes de lascas de madeira apresentaram valores inferiores a 70%, caracterizando-o como material não pozolânico. Já as amostras de CVB provenientes da casca do arroz apresentaram valores excepcionais, superiores a 90%, caracterizando o material como sendo pozolana altamente reativa.

### 3.2. Influência da adição de CVB no concreto endurecido

Na Tabela 3 são apresentados os valores de resistência à compressão, com idade de 28 dias, dos diferentes traços de concreto analisados pelos autores consultados, com a substituição de cimento por cinzas volantes de biomassa.

Tabela 3 – Resistência a compressão do concreto com substituição de cimento Portland por CVB aos 28 dias.

Teores (%)	Resistência à compressão do concreto com cinzas volantes de biomassa - 28 dias							
	Lascas de madeira		Casca de Arroz		Combustível de Óleo de Palma		Bagaço da Cana	
0	22,0	46,0	78,0	70,0	79,0	67,0	32,0	44,0
5	18,5	43,0	82,3	71,2	80,0	68,2	35,0	45,0
10	16,0	42,3	86,0	72,0	80,5	69,1	40,0	46,0
15	16,3	40,0	86,4	63,0	82,6	62,5	39,5	45,0
20	17,0	41,5	88,0	46,5	84,2	60,9	38,0	38,0
25	16,0	39,6	86,6	45,1	82,5	52,5	35,0	30,0
30	15,0	37,5	85,0	45,0	80,0	51,0	31,0	28,0
Autores	Demis et al. (2014)	Berra et al. (2015)	Demis et al. (2014)	Ramasamy (2011)	Demis et al. (2014)	Ranjbar et al. (2016)	Demis et al. (2014)	Gar et al. (2017)

É possível observar que todos os diferentes teores de concreto com CVB, proveniente da queima de lascas de madeira, apresentaram valores de resistência à compressão inferiores aos valores do concreto de referência (0%). Isso se deve ao fato da cinza não apresentar características pozolânicas, como visto anteriormente.

Quanto ao concreto com cinza de casca de arroz, Demis *et al.* (2014) observaram que o concreto com 20% de substituição de cimento pela cinza apresentou melhor valor de resistência à compressão em comparação ao referência (aumento de 12,82%). Já Ramasamy (2011) observou que o melhor resultado de resistência à compressão mostrou-se no concreto com 10% de substituição de cimento pela cinza, porém com um leve aumento em relação ao concreto referência (2,86%).

Para Demis *et al.* (2014), o concreto com cinza de combustível de óleo de palma mostrou melhor resultado de resistência à compressão com o teor de 20% de substituição, com um aumento de 6,58% em relação ao concreto referência. Todavia, Ranjbar *et al.* (2016) obtiveram um melhor resultado com teor de substituição de 10%, com um leve aumento de 3,13% em relação ao concreto de referência.

Segundo as pesquisas de Demis *et al.* (2014) e Gar *et al.* (2017), utilizando-se CVB da queima do bagaço de cana, os melhores resultados de resistência à compressão se mostraram nos teores de 10% de substituição, com aumentos de 25% e 4,54%, respectivamente, sendo o primeiro bem significativo.

É possível observar que as CVB que possuem atividade pozolânica agiram melhor na resistência do concreto, sendo os melhores teores encontrados 10% e 20%. Porém, pode-se observar que os aumentos significativos foram vistos na pesquisa de Demis *et al.* (2014), nas amostras com utilização de cinzas volantes de casca de arroz e bagaço de cana, com teores de substituição de 20% e 10%, respectivamente.

Na Figura 1 é possível observar graficamente o aumento ou redução da resistência à compressão, à medida que altera o percentual de substituição de cimento Portland por cada tipo de CVB, separadamente, no concreto.

Na Figura 1a, são dispostos os valores de resistência à compressão da CVB proveniente da queima de lascas de madeira, e percebe-se que para os dois autores consultados, os gráficos se portam de maneiras semelhantes, decaindo de forma suave com o aumento dos teores de substituição.

Já os valores de resistência à compressão dos concretos com CVB proveniente da queima de casca de arroz estão dispostos na Figura 1b, sendo que para Demis *et al.* (2014) os valores elevam-se conforme o aumento da CVB até 20%, e depois decaem. Porém, Ramasamy (2011) encontrou um aumento na resistência à compressão até 10% de substituição, que, posteriormente, decai bruscamente.

Na Figura 1c, também é possível perceber uma diferença entre os gráficos dos resultados dos autores Demis *et al.* (2014) e Ranjbar *et al.* (2016), em relação à CVB proveniente da queima de combustível de óleo de palma, sendo que os valores de resistência à compressão do primeiro aumentam até 20% de substituição, e depois decaem suavemente, e para o segundo, os valores aumentam até 10% de substituição e decaem de maneira brusca, posteriormente

Por fim, na Figura 1d é possível observar que os gráficos dos resultados dos dois autores consultados, para CVB proveniente da queima de bagaço de cana, apresentam valores de resistência à compressão dispostos de maneira semelhante, sendo que sobem suavemente até 10% de substituição e decaem bruscamente a partir deste ponto.

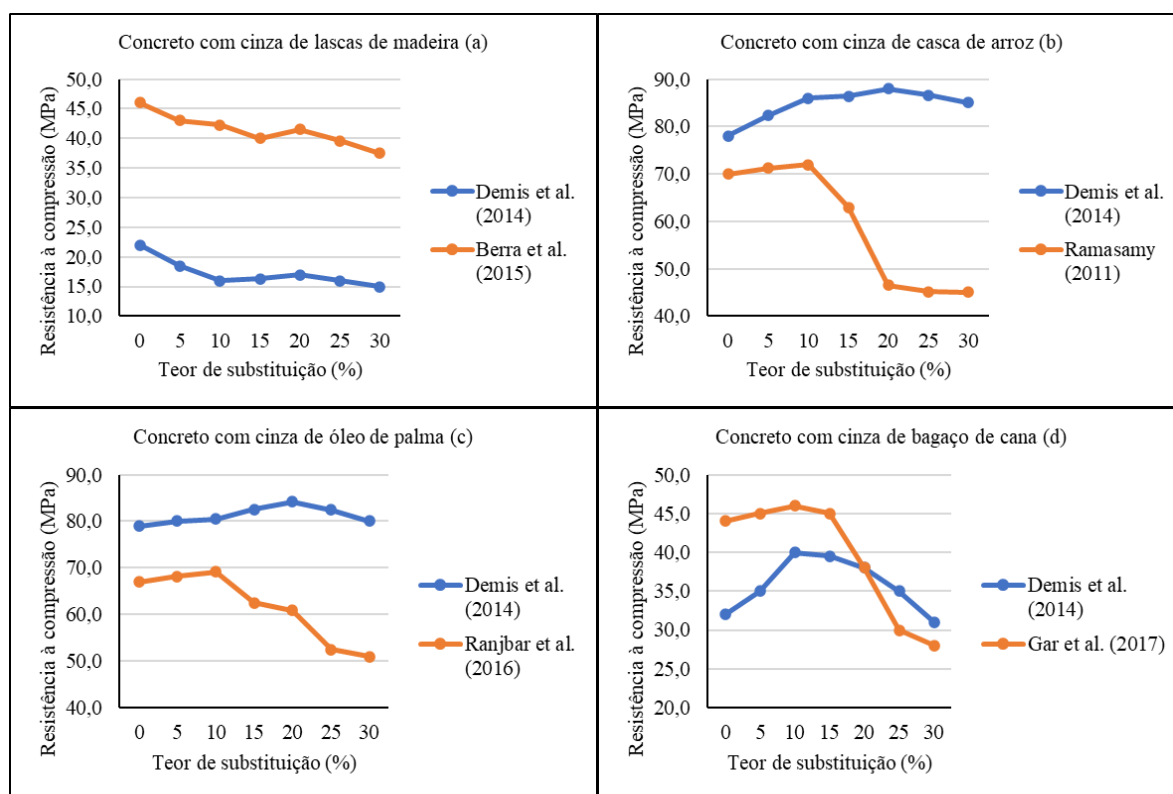


Figura 1 – Relação entre a resistência à compressão e o teor de substituição de cinza de lascas de madeira (a), de casca de arroz (b), de combustível de óleo de palma (c) e de bagaço de cana (d) no concreto endurecido aos 28 dias.

Pode-se perceber que, excetuando o caso do concreto com cinza volante de lascas de madeira, possuem comportamento semelhante em relação à resistência x teor de CVB. Todas apresentaram aumento de resistência até 10% ou 20% de teor de substituição, mesmo que suave, e posteriormente esses valores sofrem redução com o excesso de CVB na mistura. Essa redução de resistência do concreto está ligada ao fato de existir menor teor de hidróxido de cálcio (CH) do que o necessário para reação com o  $\text{SiO}_2$  presente na CVB, reduzindo então a resistência, pelo  $\text{SiO}_2$  se apresentar como um composto estranho à mistura de concreto.

#### 4. Conclusões

Os traços de concreto com substituição de cimento Portland por CVB, provenientes da queima de casca de arroz e bagaço da cana, com teores de 20% e 10%, respectivamente, apresentam maior aumento de resistência à compressão em relação ao concreto convencional, sendo viável sua utilização nos teores apresentados. Em média, a substituição de máxima eficiência sempre estará nessa faixa, sendo que o excesso não é aconselhado, por não possuir quantidade suficiente de hidróxido de cálcio para reagir com toda a pozolana presente.

#### Referências

ALTHEMAN, D. et al. *Evaluation of coal fly ash in cementitious matrices*. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, [s.l.], v. 10, n. 6, p.1320-1337, nov. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952017000600009>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 2001.



\_\_\_\_\_. *NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

**AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** *C127: Standard test method for relative density and absorption of coarse aggregate*. West Conshohocken, 2015.

\_\_\_\_\_. *C128: Standard test method for relative density and absorption of fine aggregate*. West Conshohocken, 2015.

**BERRA, M.; MANGIALARDI, T.; PAOLINI, A.E.** *Reuse of woody biomass fly ash in cement-based materials*. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 76, p.286-296, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.052>.

**DAMINELI, B.L. et al.** *Mitigating CO2 emissions from the cement industry: potential of feasibility versus the market challenge*. In: *WORLD BUILDING CONGRESS, 2013, Brisbane, Australia. Proceedings...* Brisbane: CIB, 2013.

**DEMIS, S.; TAPALI, J.G.; PAPADAKIS, V.G.** *An investigation of the effectiveness of the utilization of biomass ashes as pozzolanic materials*. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 68, p.291-300, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.071>.

**GAR, P.S.; SURESH, N.; BINDIGANAVILE, V.** *Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures*. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 153, p.929-936, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.107>.

**KAMINSKAS, R.; CESNAUSKAS, V.** *Influence of activated biomass fly ash on Portland cement hydration*. *Ceramics-Silikáty*, [s.l.], v. 58, n. 4, p. 260-268, nov. 2014.

**KUMAR, P. et al.** *Characterization, activity and process optimization with a biomass-based thermal power plant's fly ash as a potential catalyst for biodiesel production*. *Rsc Advances*, [s.l.], v. 5, n. 13, p.9946-9954, 2015. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c4ra13475c>.

**MASCHIO, S. et al.** *Fly and bottom ashes from biomass combustion as cement replacing components in mortars production: Rheological behaviour of the pastes and materials compression strength*. *Chemosphere*, [s.l.], v. 85, n. 4, p.666-671, out. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.070>.

**MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M.** *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. 1.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

**MONTINI, M.** *Aplicação do Resíduo de Bauxita e Cinza Pesada da Indústria do Alumínio na Fabricação do Cimento Portland*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. 2009.

**NAAMANE, S.; RAIS, Z.; TALEB, M.** *The effectiveness of the incineration of sewage sludge on the evolution of physicochemical and mechanical properties of Portland cement*. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 112, p.783-789, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.121>.

**NUNES, L.J.R.; MATIAS, J.C.O.; CATALÃO, J.P.S.** *Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes*. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 53, p.235-242, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.053>.

**RAJAMMA, R. et al.** *Biomass fly ash effect on fresh and hardened state properties of cement based materials*. *Composites Part B: Engineering*, [s.l.], v. 77, p.1-9, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.019>.

**RAMASAMY, V.** *Compressive strength and durability properties of Rice Husk Ash concrete*. *KSCE Journal Of Civil Engineering*, [s.l.], v. 16, n. 1, p.93-102, 31 dez. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-012-0779-2>.

**RAMOS, J.** *Reciclando Cinzas: Estudo de Viabilidade para Produção de Blocos para Construção Civil a partir da Cinza Volante Residual de um Reator de Leito Fluidizado*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2011.

**RANJBAR, N. et al.** *Durability and mechanical properties of self-compacting concrete incorporating palm oil fuel ash*. *Journal Of Cleaner Production*, [s.l.], v. 112, p.723-730, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.033>.

**SCHNEIDER, M. et al.** *Sustainable cement production – present and future*. *Cement and Concrete Research*, v. 41, n. 7, p. 642-650, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019>.

**SIQUEIRA, J.S.; SOUZA, C.A.G.; SOUZA, J.A.S.** *Reaproveitamento de cinzas de carvão mineral na formulação de argamassas.* Revista Cerâmica 58, p. 275-279. 2012.

**SOARES, L.W.O. et al.** *The effect of rice husk ash as pozzolan in addition to cement Portland class G for oil well cementing.* Journal Of Petroleum Science And Engineering, [s.l.], v. 131, p.80-85, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2015.04.009>.

**TANG, P. et al.** *The application of the treated bottom ash in mortar as cement replacement.* In: WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM EURASIA, 2014. Istambul, Turquia. *Proceedings...* p. 1077-1082. Istambul: Yildiz Technical University, 2014.

**ZERBINO, R.; GIACCIO, G.; ISAIA, C. R.** *Concrete incorporating Rice-husk ash without processing.* Construction and Building Materials, v. 25, p. 371-378, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.016>.