ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

EFEITO SINÉRGICO DAS CINZAS DE BIOMASSA: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO

Synergic Effect of Biomass Ash: Evaluation of Pozolanic Potential

Camila Cristina Canhestro Guimarães
Universidade Federal de Catalão - UFCat | Catalão, GO | canhestroguimaraes@discente.ufcat.edu.br

Heber Martins de Paula
Universidade Federal de Catalão - UFCat | Catalão, GO | heberdepaula@ufcat.edu.br

Antover Panazzolo Sarmento
Universidade Federal de Catalão - UFCat | Catalão, GO | antoverps@ufcat.edu.br

Resumo

O uso de adições minerais ativas tem sido uma alternativa promissora. A substituição parcial do cimento Portland nos produtos cimentícios por resíduos agroindustriais que possuem em sua composição química a sílica reativa e se caracterizam como materiais cimentícios suplementares (MCS), reduz o consumo de recursos não renováveis e diminui o passivo ambiental. Destarte, o presente artigo objetivou avaliar a atividade pozolânica, por meio do método Chapelle modificado, das cinzas de biomassa e do efeito sinérgico, através das combinações da cinza da casca de arroz (CCA), cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e cinza do cavaco de eucalipto (CCE), formando os blends Cmín, Cméd e Cmáx. Nesse sentido, o Cmín apresentou um consumo de 915,29 mg de $Ca(OH)_2$ /g de amostra, o que indica efeito sinérgico entre a CCA e CBCA. Além disso, $C_{méd}$ atingiu o consumo mínimo de $Ca(OH)_2$/g de amostra para a classificação como material pozolânico.

Palavras-chave: Adições minerais; Materiais cimentícios suplementares; *Blends*; Cinzas de biomassa; Método *Chapelle* modificado.

ABSTRACT

The use of active mineral additions has been a promising alternative. The partial replacement of Portland cement in cementitious products by agro-industrial residues that have reactive silica in their chemical composition and are characterized as supplementary cementitious materials (SCM), reduces the consumption of non-renewable resources and reduces environmental liabilities. Thus, this article aimed to evaluate the pozzolanic activity, through the modified Chapelle's method, of biomass ashes and the synergistic effect, through combinations of rice husk ash (RHA), sugarcane bagasse ash (SCBA) and eucalyptus chip ash (ECA), forming the Cmin, Cmed and Cmax blends. In this sense, the Cmin presented a consumption of 915,29 mg of Ca(OH)2 /g of sample, which indicates a synergistic effect between the RHA and SCBA. Furthermore, C_{med} reached the minimum consumption of Ca(OH)2/g of sample for classification as a pozzolanic material.

Keywords: Mineral additions; Supplementary cementitious materials; Blends; Biomass ash; Modified Chapelle's method.

1 INTRODUÇÃO

As cinzas produzidas por processos antrópicos, provenientes da combustão de biomassa são classificadas como pozolanas artificiais (PARIS *et al*., 2016). Suas incorporações em matrizes cimentícias substituindo parcialmente o cimento Portland podem trazer vários benefícios, como a redução do impacto ambiental e o custo do material (ATAIE; RIDING, 2016). Não somente por razões ecológicas, mas também tecnológicas (MORAES *et al*., 2016), o uso de pozolanas proporciona menor consumo de cimento, melhorias no desempenho mecânico e durabilidade do concreto (LIMA *et al*., 2022; CAMPOS; MEDEIROS; HOPPE FILHO, 2022; RAMOS; MATOS; SOUSA-COUTINHO, 2013).

Assim, a sílica reativa, presente nas adições minerais, é o componente essencial para desenvolver um comportamento pozolânico, que depende também do tamanho da partícula e a um estado amorfo (ROSELLÓ *et al*., 2017). Portanto, é importante considerar a heterogeneidade das cinzas de biomassa provenientes de resíduos agroindustriais, sendo recomendável realizar a caracterização e estudos para validar os requisitos de desempenho desejados (CHOWDHURY; MISHRA; SUGANYA, 2015; RIBEIRO *et al*., 2017), a fim de atestar seu potencial como material cimentício suplementar.

Destarte, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o índice de atividade pozolânica de diferentes misturas de cinzas de biomassa, pelo método *Chapelle* modificado, NBR 15895 (ABNT, 2010a). Este método determina diretamente o teor de cal fixado por atividade pozolânica, com a interação da adição mineral com o hidróxido de cálcio, proporcionando o máximo potencial reativo da adição (HOPPE FILHO *et al*., 2017).

2 METODOLOGIA

As cinzas de biomassa utilizadas nesta pesquisa foram coletadas em diferentes regiões industriais. A cinza da casca de arroz (CCA) foi coletada diretamente no pátio de uma indústria de produtos alimentícios, localizada em Araguari, MG, cujos principais produtos beneficiados são: arroz, feijão e café. Após o beneficiamento do arroz, a sua casca é utilizada como material combustível para geração de calor durante o processo de torra do café.

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), foi adquirida em uma usina de etanol localizada em João Pinheiro, MG. Segundo a empresa, a CBCA é obtida durante o processo de geração de energia por meio da queima do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, para que seja feita a produção de etanol.

E, a cinza do cavaco de eucalipto (CCE) foi fornecida por uma indústria de mineração, situada em Catalão, GO, que atua no beneficiamento de nióbio e fosfatos utilizados em fertilizantes para agricultura. O cavaco de eucalipto é utilizado pela empresa na geração de calor através de fornalhas que atingem temperaturas entre 1000 e 1100°C com o intuito de secar a rocha fosfática.

Visando uma caracterização preliminar, as amostras de CCA, CBCA e CCE foram submetidas a análises granulométricas, adaptando a metodologia prescrita pela NBR 17054 (ABNT, 2022a) que originalmente é aplicada em agregados para argamassa e concreto de cimento Portland, utilizando as peneiras com malhas 12,5mm; 9,5mm; 6,3mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm; fundo e tampa.

Com a finalidade de homogeneizar as cinzas de biomassa, reduzindo e simplificando os processos com tratamentos preliminares, individualmente as amostras de CCA, CBCA e CCE foram secas em estufa à uma temperatura de 50ºC até apresentarem massa constante. Em seguida passaram por peneiramento com a peneira #4 (abertura 4,75mm). Por fim, foram processadas em um liquidificador industrial por 15 minutos em uma rotação de 30rpm.

Assim, após a uniformização, foi possível obter os *blends* das cinzas de biomassa formados pela combinação entre a CCA, CBCA e CCE (%CCA+%CCE+%CBCA), seguindo os teores apresentados na Tabela 1. Essas porcentagens tiveram origem no estudo realizado por Bonfim (2019), o qual estabeleceu através da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), as faixas de otimização do traço de argamassas de assentamento e revestimento com adição das cinzas CCA, CBCA e CCE, considerando os melhores resultados no desempenho mecânico das argamassas para as maiores parcelas de substituição do cimento Portland pelas biomassas.

Tabela 1: *Blends* de cinzas de biomassa

BLENDS	%CCA	%CBCA	%CCE	(%CCA+%CBCA +%CCE)
Cmín	12,50	3,20	0,00	15,70
Cméd	15,65	6,35	4,75	26,75
Cmáx	18,80	9,50	9,50	37,80

Fonte: Os autores

Por fim, visando fornecer dados que corroborem com as pesquisas de cinzas de biomassa como adições minerais ativas, os ensaios de caracterização seguiram as metodologias apresentadas no Quadro 1.

Além disso, para fins comparativos, o cimento Portland adotado nesta pesquisa foi o de alta resistência inicial CPV-ARI que, segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018), possui elevado teor de clínquer em sua fabricação, entre 90 a 100%. Assim, é o cimento disponível no mercado, com menores adições em sua composição, sendo empregado em estudos voltados para a real influência das adições minerais em concretos e argamassas, como os realizados por Cabral, Barbosa e Pinto (2022), Gonçalves, Soares e Paula (2021), Castro *et al.* (2020) e Degen *et al.* (2019).

Quadro 2: Ensaios de caracterização química, física e sinérgica

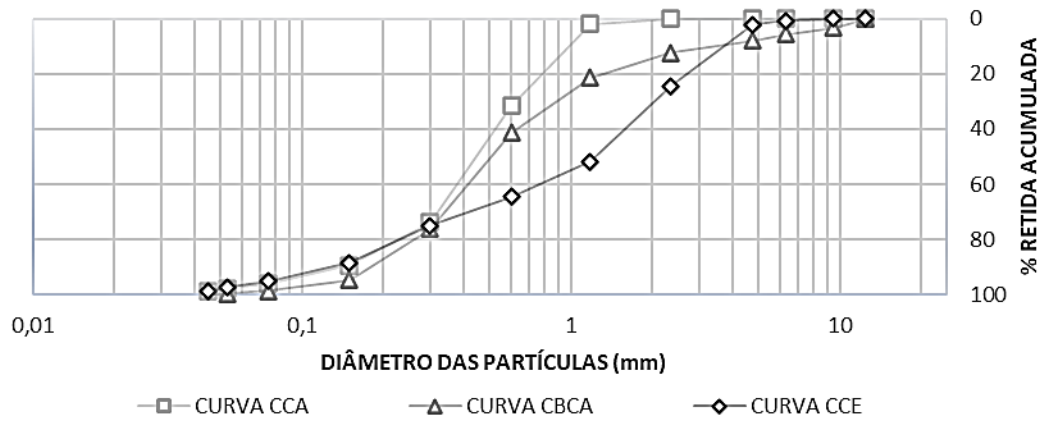
DESCRIÇÃO	METODOLOGIA	MATERIAIS
Composição granulométrica	Adaptação do método previsto na NBR 17054 (ABNT, 2022a)	CCA, CBCA e CCE
Finura	Método previsto na NBR 15894-3 (ABNT, 2010b)	CCA, CBCA, CCE, Cmín, Cméd e Cmáx
Perda ao fogo	Método nº1 NBR NM 18 (ABNT, 2012)	CCA, CBCA, CCE, Cmín, Cméd e Cmáx
Teor de umidade	NBR 17051 (ABNT, 2022b)	CCA, CBCA, CCE, Cmín, Cméd e Cmáx
Massa específica	NBR 16605 (ABNT, 2017)	CP V-ARI, Cmín, Cméd e Cmáx
Densidade de partículas	Método do balão volumétrico (EMBRAPA, 2017)	CP V-ARI, CCA, CBCA, CCE, Cmín, Cméd e Cmáx
Índice de atividade pozolânica *Chapelle*	NBR 15895 (ABNT, 2010a)	CCA, CBCA, CCE, Cmín, Cméd e Cmáx

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E ANÁLISES

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para análise granulométrica das cinzas de biomassa coletadas. Verifica-se através das curvas granulométricas (CCA, CBCA e CCE) que aproximadamente 25% das partículas passaram na peneira de malha 0,3mm.

Figura 1: Distribuição granulométrica para CCA, CBCA e CCE



Fonte: Os autores

No entanto, foi possível observar que as cinzas de biomassa coletadas não se enquadram nos requisitos para classificação granulométrica como materiais pozolânicos. Segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014), uma

pozolana deverá apresentar no máximo 20% de material retido na peneira 45µm. Para tanto, com o intuito de aproveitar os resíduos agroindustriais coletados em sua totalidade, as amostras das biomassas foram submetidas a uniformização proposta neste estudo. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 2 e no Quadro 3.

Quadro 2: Resultados da finura (F)

AMOSTRA	PROCEDIMENTO	F (%)
CCA	Secar (50°C) + Peneirar (#4)	86,3
CBCA		94,6
CCE		85,1
CCA	Secar (50°C) + Peneirar (#4) + Processar (30rpm)	47,0
CBCA		66,9
CCE		45,0
Cmín	*Blends*	52,5
Cméd		53,5
Cmáx		53,1

Fonte: Os autores

Quadro 3: Resultados do teor de umidade (U), perda ao fogo (PF), densidade de partículas (Dp) e massa específica (µ)

AMOSTRA	U (%)	PF (%)	Dp (g/cm³)	µ (g/cm³)
CCA	0,5	21,3	2,02	-
CBCA	0,8	40,5	1,63	-
CCE	1,8	72,3	1,60	-
Cmín	2,5	25,1	1,60	1,96
Cméd	2,7	33,3	1,53	1,91
Cmáx	3,3	38,0	1,36	2,03
CPV-ARI	-	3,9	2,84	3,14

Fonte: Os autores

Percebe-se no Quadro 2, que o procedimento adotado apesar de melhorar a finura das partículas, não foi suficiente para fragmentá-las de forma a atender aos requisitos da referida normativa. Apesar de não serem classificadas como pozolanas pelo índice de finura, é possível observar no Quadro 3, que os teores de umidade estão dentro do limite de 3% para essa classificação, segundo NBR 12653 (ABNT, 2014).

Em contrapartida, os elevados resultados obtidos para perda ao fogo (PF), Quadro 3, podem prejudicar a reatividade das cinzas, pois segundo Fernandes *et al.* (2016) a maior quantidade de carbono está ligada a menor quantidade de sílica disponível. Essa maior quantidade de matéria orgânica não queimada, além de proporcionar um maior teor de umidade (U) às cinzas, também influi em uma maior porosidade aos sistemas cimentícios, aumentando a demanda de água necessária para o molhamento das partículas, modificando a sua reologia (FRANÇA *et al*., 2016; MARTIRENA; MONZÓ, 2018). No entanto, segundo Resende (2013), para valores de PF até 30%, as adições minerais podem ser aplicadas em argamassas sem prejuízo em sua resistência final.

A densidade de partículas (Dp) é uma grandeza que envolve massa e volume, assim sendo, percebe-se que a CCA ocupa menor volume comparado as outras cinzas e *blends* (Quadro 3). Além disso, verifica-se que o Cmáx por ser menos denso, ocupará maior volume ao ser utilizado. De acordo com Aprianti *et al*. (2016), a substituição de materiais cimentícios por diferentes volumes de cinzas irá afetar os resultados devido a ação sinérgica entre elas, em que o volume pode aumentar ou diminuir de acordo com a Dp da cinza e do cimento e, com isso, segundo Martirena e Monzó (2018) afetar a reologia do sistema de maneira significativa. Porém, os resultados estão coerentes aos encontrados na literatura para os valores de g/cm³ da CCA (CASTRO *et al*., 2020), da CBCA (KAZMI *et al*., 2017; MOURÃO; PAULA, 2022) e da CCE (RESENDE, 2013).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do índice de atividade pozolânica *Chapelle*, que corresponde ao teor de hidróxido de cálcio fixado ($I_{Ca(OH)_2}$), expresso em miligramas (mg) de $Ca(OH)_2$ por grama (g) das cinzas e *blends* de biomassa estudados. Raverdy *et al.* (1980) estabelece o limite mínimo de 330 mg CaO/g de amostra (equivalente a 436 mg de $Ca(OH)_2$/g de amostra) para a classificação de uma adição mineral como material pozolânico.

Nesse sentido, a CCA, com consumo de 838,40 mg de $Ca(OH)_2$/g de amostra, trata-se de um material com elevada atividade pozolânica, assim como elucidado nas pesquisas de Bonfim e Paula (2021). Além disso, o Cmín apresenta-se com um consumo de 915,29 mg de $Ca(OH)_2$/g de amostra, indicando efeito sinérgico

entre a CCA e CBCA. O mesmo não ocorre para o Cméd, mas ainda assim, enquadra-se na classificação como material pozolânico, com um consumo de 534,20 mg de $Ca(OH)_2$/g de amostra. Observa-se que Cmáx não atingiu o limite mínimo, essa condição pode ser justificada pela maior PF e menor Dp deste *blend* (Quadro 3), que possui maior porcentagem de CCE em sua composição, a qual apresenta as partículas mais grossas entre as cinzas de biomassa estudadas, Figura 1.

Tabela 2: Índice de atividade pozolânica *Chapelle*

AMOSTRA	$I_{Ca(OH)_2}$
CCA	838,40
CBCA	31,34
CCE	54,85
Cmín	915,29
Cméd	534,20
Cmáx	380,16

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÃO

Fisicamente as cinzas e *blends* de biomassa não atenderam às características para efeito fíler como adições minerais inertes. Entretanto, notou-se efeito sinérgico entre a CBCA e a CCA no *blend* Cmín, culminando no maior índice de atividade pozolânica *Chapelle* ($I_{Ca(OH)_2}$). Já o *blend* Cmáx, com o maior teor de cinzas em sua composição, não apresentou perfil pozolânico. Por fim, o Cméd mostrou-se como o melhor *blend* para o desenvolvimento de um material cimentício, por apresentar-se como maior porcentagem em substituição ao cimento dentro das faixas de otimização do traço de argamassas de assentamento e revestimento com adições de CCA, CBCA e CCE, definidas por Bonfim (2019).

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, a UFCat e ao PPGEC por todo suporte no desenvolvimento e realização deste trabalho, principalmente pelo financiamento da pesquisa, recursos concedidos e apoio humano.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15895**: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010a.

_____. **NBR 15894-3**: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta. Parte 3: Determinação da finura por meio da peneira 45 µm. Rio de Janeiro, 2010b.

_____. **NBR NM 18**: Cimento Portland – Análise química – Determinação de perda ao fogo – Método nº1. Rio de Janeiro, 2012.

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

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022a.

_____. **NBR 17051**: Determinação pozolânicos – Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2022b.

APRIANTI, E. *et al*. Introducing an effective curing method for mortar containing high volume cementitious materials. **Construction and Building Materials**, v. 107, p. 365-377, 2016. ISSN: 0950-0618. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.100.

ATAIE, F. F.; RIDING, K. A. Influence of agricultural residue ash on early cement hydration and chemical admixtures adsorption. **Construction and Building Materials**, v. 106, p. 274-281, 2016. ISSN 0950-0618. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.091.

BONFIM, W. B. **Otimização do teor de incorporação de cinzas de biomassa para produção de argamassas**. Orientador: Heber Martins de Paula. 2019. 110f. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Otimização) – Unidade

Acadêmica Especial de Matemática e Tecnologia, Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão, Catalão - GO, 2019.

BONFIM, W. B.; PAULA, H.M. Characterization of different biomass ashes as supplementary cementitious material to produce coating mortar. **Journal of Cleaner Production**, v. 291, p.125869, 2021. ISSN: 0959-6526. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.

CABRAL, S. C.; BARBOSA, F. A.; PINTO, E. L. Análise comparativa de resistência à compressão uniaxial de traço de argamassa autoadensável e concreto celular espumoso com incorporação de sílica ativa ou cinza de madeira de eucalipto. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, IV, 2022, Salvador. **Anais eletrônicos** [...] Feira de Santana: ABMTENC, 2022. p. 384-397. ISBN: 978-65-00-55912-5. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1_2JsuXiKwPpGW9AG35aFz6SmWk6BFttE/view.

CAMPOS, P. A.; MEDEIROS, M. H. F.; HOPPE FILHO, J. Ação conjugada da sílica de casca de arroz e hidróxido de cálcio em compósitos de cimento Portland: porosidade, compostos hidratados, reserva alcalina e resistência a compressão. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, 2022. ISSN 1517-7076. https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0018.

CASTRO, M. F. *et al*. Incorporação de cinza de casca de arroz para preparação de argamassas de assentamento e revestimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XVIII, 2020, Porto Alegre. **Anais eletrônicos** [...] Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1-8. ISBN: 978-65-00-13688-3. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/issue/view/16.

CHOWDHURY; MISHRA; SUGANYA. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: an overview. **Ain Shams Engineering Journal**, v.6, n.2 p. 429-437, 2015. ISSN 2090-4479. http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2014.11.005.

DEGEN, M. K. *et al*. Estudo da lama vermelha como fíler em matrizes cimentícias. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, VI, 2019, Belém. **Anais eletrônicos** [...] Belém: ENARC, 2019. p. 340-356. ISSN 2175-1870. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1LogcpPCkZWJ7mRUqXI_T60pX6kQqdFjJ/view

FERNANDES, I. J. *et al*. Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. **Fuel Processing Technology**, v.165, p.351-359, 2016. ISSN: 0016-2361. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.086.

FRANÇA, D. F. S. *et al*. Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 153-166, 2016. ISSN: 1678-8621. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300098 .

GONÇALVES, C. F.; SOARES, A. F.; PAULA, H. M. Characterization and feasibility of using vegetable biomass ash in mortar. **Revista ALCONPAT**, v. 11, n. 2, p. 1-16, 2021. ISSN 2007-6835. https://doi.org/10.21041/ra.v11i2.484.

HOPPE FILHO, J. *et al*. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I): Índice de atividade pozolânica (IAP) com cal, difração de raios-X (DRX), termogravimetria (TG/DTG) e Chapelle modificado. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, 2017. ISSN 1517-7076. https://doi.org/10.1590/S1517-707620170003.0206.

KAZMI, S. M. S. *et al*. Pozzolanic reaciton of sugarcane bagasse ash and tis role in controlling álcali sílica reaction. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 231-240, 2017. ISSN: 0950-0618. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.025.

LIMA, C. J. F. *et al*. Durability, life cycle cost and life cycle assessment of binary mixtures with fly ash, rice husk ash and concrete demolition waste. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 161-166, 2022. ISSN: 1678-8621. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212022000100585.

MARTIRENA, F.; MONZÓ, J. Vegetable ashes as Supplementary Cementitious Materials. **Cement and Concrete Research**, v. 144, p 57-64, 2018. ISSN: 0008-8846. http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.015

MORAES, J. C. B. *et al*. Increasing the sustainability of alkali-activated binders: The use of sugar cane straw ash (SCSA). **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 148-154, 2016. ISSN 0950-0618. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.090.

MOURÃO, A. B.; PAULA, J. N. Utilização das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar da produção de cachaça como substituição parcial ao cimento nas propriedades das argamassas cimentícias. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, IV, 2022, Salvador. **Anais eletrônicos** [...] Feira de Santana: ABMTENC, 2022. p. 606-619. ISBN: 978-65-00-55912-5. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1_2JsuXiKwPpGW9AG35aFz6SmWk6BFttE/view.

PARIS, J. M. *et al*. A review of waste products utilized as supplements to portland cement in concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 121, p. 1-18, 2016. ISSN 0959-6526. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.013.

RAMOS, T.; MATOS, A. M.; SOUSA-COUTINHO, J. Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 343-351, 2013. ISSN 0950-0618. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.026.

RAVERDY, M. *et al*. Appreciation de i'activite pouzzolanique des constituants secondaires. In: 7th International Congress Chemical Cement, v.3, p. 36-41, Paris, 1980. Paris: [s.n.], 1980.

RESENDE, D. S. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. Orientador: Antônio Maria Claret de Gouveia. Coorientador: Augusto Cesar da Silva Bezerra. 2013. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Ouro Preto – MG, 2013.

RIBEIRO, J. P. *et al*. Characteristics of ash and particle emissions during bubbling fluidised bed combustion of three types of residual forest biomass. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 11, p. 10018-10029, 2017. ISSN 0944-1344, 1614-7499. http://link.springer.com/10.1007/s11356-016-8099-6.

ROSELLÓ, J. *et al*. Rice straw ash: A potential pozzolanic supplementary material for cementing systems. **Industrial Crops and Products**, v. 103, p. 39-50, 2017. ISSN 0926-6690. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.030.

VIANA J. H. M.; TEIXEIRA W. G.; DONAGEMMA G. K. Densidade de partículas – Método do balão volumétrico. In: TEIXEIRA C. P.; DONAGEMMA G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2017. cap. 8, p. 76-81, 2017.