

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 22/10/2019.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Campus de Ilha Solteira

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**JOÃO PEDRO BITTENCOURT BATISTA**

**ESTUDO DA CINZA DE FOLHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM AGLOMERANTES  
ATIVADOS ALCALINAMENTE BASEADO NO RESÍDUO DE CERÂMICA  
VERMELHA**

Ilha Solteira  
2018

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**JOÃO PEDRO BITTENCOURT BATISTA**

**ESTUDO DA CINZA DE FOLHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM AGLOMERANTES  
ATIVADOS ALCALINAMENTE BASEADO NO RESÍDUO DE CERÂMICA  
VERMELHA**

Dissertação apresentada à  
Faculdade de Engenharia de Ilha  
Solteira – UNESP para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de conhecimento: Estruturas e  
Materiais de Construção Civil

Prof. Dr. João Cláudio Bassan de  
Moares  
**Orientador**

Prof. Dr. Jorge Luis Akasaki  
**Coorientador**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B333e Batista, João Pedro Bittencourt.  
Estudo da cinza de folha de cana-de-açúcar em aglomerantes ativado  
alcalinamente baseado no resíduo de cerâmica vermelha / João Pedro  
Bittencourt Batista. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018  
91 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de  
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2018

Orientador: João Cláudio Bassan de Moares

Coorientador: Jorge Luis Akasaki

Inclui bibliografia

1. Ativação alcalina. 2. Valorização dos resíduos. 3. Análise microestrutural.  
4. Resistência à compressão.

  
Raiane da Silva Santos

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** Estudo da cinza de folha de cana-de-açúcar em aglomerantes ativados alcalinamente baseado no resíduo de cerâmica vermelha

**AUTOR: JOÃO PEDRO BITTENCOURT BATISTA**

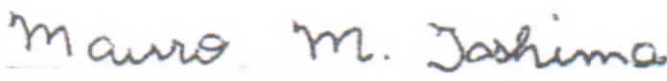
**ORIENTADOR: JOÃO CLAUDIO BASSAN DE MORAES**

**COORDENADOR: JORGE LUIS AKASAKI**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: Estruturas pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JOÃO CLAUDIO BASSAN DE MORAES  
ITA / Instituto Tecnológico de Aeronáutica



Prof. Dr. MAURO MITSUUCHI TASHIMA  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Profa. Dra. LUCÍA REIG CERDÁ  
Departamento Ingeniería Mecánica i Construcció - ETSCE / Universitat Jaume I - Espanha

Ilha Solteira, 22 de outubro de 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, especialmente aos meus pais Catarina e Roberto, à minha irmã Tábata e a minha avó Eva (*in memoriam*).

Aos meus amigos, Maju, Gasi, Gustavo, Ruan e Paula pela amizade e companheirismo.

Agradeço orientador e coorientador Prof. Dr. João Cláudio B. de Moraes e Prof. Dr. Jorge Luis Akasaki, além do Prof. Dr. Jordi Payá pelo apoio e orientação neste trabalho.

Agradeço aos professores e integrantes do grupo MAC, principalmente ao Prof. Dr. Mauro M. Tashima e Adriana.

Agradeço aos técnicos da UNESP – Ilha Solteira pelo auxílio durante a pesquisa.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de estudos concedida.

## RESUMO

Ativação alcalina pode ser definida como uma reação química em que um sólido aluminossilicato, chamado de precursor, misturado com uma solução alcalina, chamada de ativador, que reage e forma um material com propriedades cimentantes chamado aglomerantes ativados alcalinamente (AAA). O desenvolvimento desta tecnologia tem ganhado destaque na construção civil, pois além de apresentar desempenho comparável ao cimento Portland, possibilita na redução de emissão de dióxido de carbono e na utilização de subprodutos e/ou resíduos como matéria prima. O objetivo desta pesquisa é estudar o resíduo da indústria agrícola, a cinza de folha de cana-de-açúcar (CFC), formando um sistema binário com o resíduo de cerâmica vermelha (RCV), em aglomerantes ativado alcalinamente. Assim, foram produzidos aglomerantes ativados alcalinamente utilizando, como ativador, uma solução de NaOH e silicato de sódio, com diferentes proporções de RCV/CFC e adição de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . As pastas e argamassas produzidas foram avaliadas em duas diferentes condições de cura – temperatura ambiente (25 °C) e em banho térmico (65 °C). Para a análise da microestrutura, foram feitos os ensaios em pastas de Difractometria de Raios – X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). Já para analisar o desempenho mecânico, foi realizado ensaio de resistência à compressão de argamassas. Os resultados mostraram que o emprego da CFC melhorou o desempenho mecânico em todas as proporções utilizadas de RCV/CFC em relação ao controle (100/0), alcançando resistência máxima de 41,6 MPa aos 90 dias a 25 °C e 42,5 MPa aos 7 dias a 65 °C, para a argamassa com relação 50/50. Portanto, pode-se concluir que a cinza de folha de cana-de-açúcar possui um excelente potencial para utilização em sistema combinado com RVC em aglomerantes ativados alcalinamente, contribuindo com a valorização dos resíduos.

**Palavras-chave:** Ativação alcalina. Valorização dos resíduos. Análise microestrutural. Resistência à compressão.

## ABSTRACT

Alkaline activation can be defined as a chemical reaction in which a solid aluminosilicate, named precursor, mixed with an alkaline solution, named activator, reacts and forms a material with cementing properties named alkali-activated binders (AAB). The development of this technology has been highlighted in civil construction due its performance similar to Portland cement and also because the reduction of  $CO_2$  emissions and the possibility of using by-products and/or residues as raw materials. The aim of this study is to assess the use of a residue from sugar cane industry, the sugarcane straw ash (SCSA), in a binary system with the red clay brick waste (RCBW), as an alkali-activated binder. Thus, alkali-activated binders were produced using NaOH and sodium silicate as activator with different ratios of RCBW/SCS and  $Ca(OH)_2$  addition. Pastes and mortars were assessed with different curing conditions - room temperature (25°C) and thermal bath (65°C). The microstructure of the system was assessed in pastes by the X - Ray Diffractometer (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR). In order to evaluate the mechanical behavior, a compressive strength test was carried out in mortars. The results showed that the use of SCSA improved the mechanical properties for all RCBW/SCSA ratios compared to control (100/0), yielding a maximum compressive strength of 41.6 MPa at 90 days at 25 °C and 42.5 MPa at 7 days at 65 °C for 50/50 ratio. Therefore, it can be concluded that the sugarcane straw ash has an excellent potential in binary system with RVC to produce alkaline activated binders, providing a valorisation of wastes.

**Keywords:** Alkaline activation. Valorization of wastes. Microstructural analysis. Compressive strength.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução histórica dos principais trabalhos desenvolvidos sobre ativação alcalina .....	18
Figura 2 - Produção científica sobre ativação alcalina nas últimas décadas. A linha pontilhada se refere a trabalhos com o termo “ativação alcalina” e a linha contínua com o termo “geopolímeros”. .....	18
Figura 3 - Produção mundial de cimento nos últimos anos.....	20
Figura 4 - Primeira fase do mecanismo de reação para materiais com baixo teor de cálcio .....	23
Figura 5 - Segunda fase do mecanismo de reação para materiais com baixo teor de cálcio .....	24
Figura 6 - Esquematização da ativação alcalina da cinza volante .....	25
Figura 7 - Desenvolvimento microestrutural de materiais com baixo teor de cálcio durante a ativação alcalina.....	26
Figura 8 - Diagrama de geopolimerização do metacaulim .....	26
Figura 9 - Resistência mecânica em relação ao tempo de cura para argamassas curadas a 65°C.....	33
Figura 10 - Composição do RCD utilizado (%) em massa .....	35
Figura 11 - Resistência mecânica em função da temperatura de cura .....	37
Figura 12 - Resistência à compressão em função da temperatura de cura .....	38
Figura 13 - Resistência à compressão em relação ao agregado utilizado aos 7 dias de cura a 65 °C .....	40
Figura 14 - Curva granulométrica da areia utilizada .....	46
Figura 15 - Imagem do moinho de bolas utilizado para moagem.....	47
Figura 16 - Esquematização da difração de raios-X.....	49
Figura 17 - Temperatura de queima da folha de cana-de-açúcar em função do tempo .....	51
Figura 18 - Cinza de folha de cana-de-açúcar moída e peneirada.....	52
Figura 19 - Resíduo de cerâmica vermelha antes e após a moagem e peneiramento .....	52
Figura 20 - Corpos-de-prova para o ensaio de compressão .....	54
Figura 21 - Organograma da caracterização dos precursores e dos ensaios realizados nas pastas e argamassas .....	56

Figura 22 - Difração de Raios-X da cinza de folha de cana-de-açúcar. (Legenda: Q: Quartzo; S: Silvita; C: Calcita).....	59
Figura 23 - Distribuição granulométrica em volume passante acumulado da CFC para diferentes tempos de moagem. ....	60
Figura 24 - Distribuição granulométrica pela derivada do volume passante acumulado da CFC para diferentes tempos de moagem.....	60
Figura 25 - Distribuição granulométrica em volume passante acumulado e sua derivada da CFC por 50 minutos de moagem.....	62
Figura 26 - FTIR da cinza de folha de cana-de-açúcar .....	63
Figura 27 - Difração de Raios-X do resíduo de cerâmica vermelha. ....	64
Figura 28 - Distribuição granulométrica em volume passante acumulado e sua derivada do RCV para o tempo de 50 minutos.....	65
Figura 29 - FTIR do resíduo de cerâmica vermelha .....	66
Figura 30 - Resistência à compressão em função do tempo de cura para as argamassas curadas a 25°C .....	68
Figura 31 - Resistência à compressão em função da substituição (%) do RCV por CFC para as argamassas curadas a 25°C .....	68
Figura 32 - Resistência à compressão em função do tempo de cura para as argamassas curadas a 65°C .....	69
Figura 33 - Resistência à compressão em função do tempo de cura para as argamassas curadas a 65°C .....	70
Figura 34 - Comparação das resistências em função da substituição (%) do RCV pela CFC de argamassas curadas a temperatura de 25°C e 65°C.....	71
Figura 35 - Análise de DRX dos precursores (CFC e RCV) e das pastas 100/0 e 50/50 curadas por 90 dias a 25°C. (Legenda: Q: Quartzo; S: Silvita; C: Calcita; M: Muscovita; An: Anortita). ....	72
Figura 36 - Análise de DRX das pastas 100/0 e 50/50 curadas por 90 dias a 25°C e 100/0 e 50/50 curadas por 7 dias a 65°C. (Legenda: Q: Quartzo; C: Calcita; M: Muscovita; An: Anortita). ....	73
Figura 37 - FTIR dos aglomerantes e das pastas (RCV/CFC) curadas por 90 dias a 25°C: a) 100/0, b) 75/25, c) 50/50, d) CFC, e) RCV e f) cal. ....	74
Figura 38 - FTIR para as pastas em relação às porcentagens de CFC (0, 25 e 50%) curadas em câmara úmida a 25°C (C- RCV/CFC) e em banho térmico a 65°C (B- RCV/CFC). ....	75

Figura 39 - MEV das pastas controle e com 50% de CFC, com proporções RCV/CFC de: a) 100/0 - 7 dias a 65°C, b) 50/50 - 7 dias a 65°C, c)100/0 - 90 dias a 25°C e d) 50/50 - 90 dias a 25°C.....	76
Figura 40 - Diferentes produtos nas pastas curadas por 7 dias a 65°C: a) 100/0 e b) 50/50 .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização física do agregado miúdo .....	46
Tabela 2 - Composição química da cinza de folha de cana-de-açúcar (%) .....	57
Tabela 3 - Diâmetros ( $\mu\text{m}$ ) relativos às porcentagens passantes para cada tempo de moagem .....	61
Tabela 4 - Composição química resíduo de cerâmica vermelha (%) .....	64
Tabela 5 - Diâmetros ( $\mu\text{m}$ ) relativos às porcentagens para cada tempo de moagem .....	65
Tabela 6 - Resultados de resistência à compressão das argamassas 100/0, 87,5/12,5, 75/25, 62,5/37,5 e 50/50 após 3, 7, 28 e 90 dias de cura (25 °C) e 1, 3 e 7 dias de cura (65 °C) e seus respectivos desvios padrão .....	67

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	Estrutura da dissertação .....	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1	Objetivo geral .....	16
2.2	Objetivos específicos .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
3.1	Ativação Alcalina .....	17
3.2	Materiais ativados alcalinamente como uma alternativa sustentável .....	19
3.3	Mecanismos de reação .....	20
3.4	Ativadores alcalinos .....	27
3.5	Precursores .....	29
3.5.1	<i>A utilização de resíduos na produção de aglomerantes ativados alcalinamente</i> .....	30
3.6	Influência da adição de cal em aglomerantes ativados alcalinamente .....	35
3.7	Efeito da condição de cura em materiais ativados alcalinamente .....	36
3.8	Resíduo de cerâmica vermelha (RCV) .....	38
3.9	Cinza da folha de cana-de-açúcar .....	41
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
4.1	Materiais .....	44
4.1.1	<i>Precursores</i> .....	44
4.1.2	<i>Hidróxido de cálcio</i> .....	45
4.1.3	<i>Solução ativadora</i> .....	45
4.1.4	<i>Água de amassamento</i> .....	45
4.1.5	<i>Agregado miúdo</i> .....	45
4.1.6	<i>Outros reagentes químicos</i> .....	46
4.2	Equipamentos .....	47

<b>4.2.1</b>	<b>Moinho</b>	<b>47</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Fluorescência de Raios-X (FRX)</b>	<b>47</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Difratômetro de Raios-X (DRX)</b>	<b>48</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Granulometria a laser</b>	<b>49</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Espectrofotômetro de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)</b>	<b>49</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Microscópio eletrônico de varredura (MEV)</b>	<b>50</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Máquina Universal de Ensaio</b>	<b>50</b>
<b>4.3</b>	<b>Procedimento experimental</b>	<b>50</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Produção da cinza de folha de cana-de-açúcar</b>	<b>50</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Produção do resíduo de cerâmica vermelha</b>	<b>52</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Preparação da solução alcalina</b>	<b>53</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Preparação de pastas</b>	<b>53</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Preparação de argamassas</b>	<b>53</b>
<b>4.3.6</b>	<b>Proporções dos aglomerantes ativados alcalinamente</b>	<b>54</b>
<b>4.3.7</b>	<b>Ensaio realizados</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização dos precursores sólidos</b>	<b>57</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Caracterização da cinza de folha de cana-de-açúcar</b>	<b>57</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Caracterização do resíduo de cerâmica vermelha</b>	<b>63</b>
<b>5.2</b>	<b>Estudo da cinza de folha de cana-de-açúcar a base de resíduo de cerâmica vermelha em argamassas</b>	<b>67</b>
<b>5.3</b>	<b>Estudo da cinza de folha de cana-de-açúcar a base de resíduo de cerâmica vermelha em pastas</b>	<b>71</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Difração de Raios-X (DRX)</b>	<b>71</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)</b>	<b>73</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>77</b>

<b>7</b>	<b>PROPOSTAS FUTURAS .....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

---

Nas últimas décadas, o interesse da comunidade científica em tecnologias que possibilitam um desenvolvimento com menores impactos ambientais tem aumentado. Assim, a ativação alcalina tem-se destacado na produção de matrizes cimentantes de forma sustentável. Esta tecnologia se baseia na utilização de materiais silicoaluminosos, chamados de precursores, que são ativados por meio de uma solução alcalina, ativador.

Estima-se que para produzir 1 tonelada de cimento é gerado 0,66 – 0,82 toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera, isto representa em torno de 5 - 7% das emissões mundiais (GARCIA-LODEIRO; PALOMO; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, 2014). Em comparação com o cimento Portland, os aglomerantes ativados alcalinamente (AAA) podem proporcionar uma redução de até 80% de emissão de CO<sub>2</sub>, além de propriedades mecânicas similares ou superiores, como: alta resistência mecânica, boa resistência à abrasão e ao fogo, resistência a vários ácidos e sais, proteção ao aço devido ao alto pH, baixas taxas de difusão de cloretos, etc. (DUXSON et al., 2007).

Em 2009, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, na cidade de Copenhague, e apesar de não conseguir grandes avanços, foi de comum acordo o estabelecimento das datas de 2020 e 2050 serem pontos de referências para se analisar as mudanças climáticas (SHI; JIMÉNEZ; PALOMO, 2011).

Segundo a “International Energy Agency” (IEA), em 2050, a produção de cimento pode alcançar 4,4 bilhões de toneladas. Sendo assim, em 2008, na reunião da cúpula do G8, em Hokkaido, líderes mundiais solicitaram para a IAE, a criação de um projeto de incentivo a tecnologias que permitem a redução de emissão de CO<sub>2</sub>. Mais recente, em 2015, foi realizado em Paris, a COP21. O principal objetivo foi estabelecer um acordo, que ficou conhecido como acordo Paris, sobre as mudanças climáticas. O acordo Paris, que entrará em vigor em 2020, tem como escopo medidas para que a temperatura média do planeta tenha um aumento menor que 2°C. Com esse objetivo, o Brasil colocou como umas das metas a redução da emissão de CO<sub>2</sub> em 37% até 2025 e ampliando para 43% até o ano de 2030 (BRASIL, 2017).

Além da possível redução de dióxido de carbono, estes materiais ativados alcalinamente podem utilizar subprodutos e/ou resíduos como matéria prima, trazendo



assim, diversas vantagens em sua utilização, já que a gestão de resíduos é um problema em diversas indústrias em todo o mundo.

De acordo com Provis (2017), um fator importante para que a ativação alcalina seja amplamente utilizada é a disponibilidade de matéria prima tanto para o ativador como precursor. Estes materiais podem possuir disponibilidade limitada, além de alguns já serem utilizados como adições/substituições com o cimento Portland (escória, metacaulim e cinza volante). McLellan et al. (2011) destacaram que o custo dos aglomerantes ativados alcalinamente (AAA) em relação ao cimento Portland pode variar de 72% de redução a um aumento de 8 vezes. O principal motivo é o transporte da matéria prima utilizada, sendo extremamente importante que a disponibilidade seja próxima da produção da matriz cimentante.

Neste contexto, este trabalho estuda um novo precursor composto por dois resíduos abundantes no Brasil: a cinza de folha de cana-de-açúcar (CFC), um resíduo agrícola e o resíduo de cerâmica vermelha (RCV).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido pela Índia e China. A safra de 2017/2018 foi de 641 milhões de toneladas (CONAB, 2018). São gerados 140 Kg de folha para cada tonelada de cana-de-açúcar colhida e a CFC é um resíduo produzido a partir da queima da folha de cana-de-açúcar (BNDES & CGEE, 2008). Já a indústria de cerâmica vermelha representa cerca de 1% do Valor Bruto da Produção Industrial (VBPI), isto significa 4,8% do faturamento da indústria da construção civil. O resíduo de cerâmica vermelha é produzido durante o processo de fabricação ou após a utilização do produto.

Para realizar este estudo, o precursor, composto por dois resíduos (CFC e RCV), foi ativado alcalinamente com uma solução de hidróxido e silicato de sódio para produzir pastas e argamassas. Em seguida, foram conduzidos ensaios para avaliar a microestrutura das pastas, como: Difractometria de Raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), além de ensaio a resistência à compressão em argamassas. Com finalidade de avaliar as amostras com diferentes curas, as pastas e argamassas foram mantidas tanto em temperatura ambiente (25°C), quanto em banho térmico (65°C).

Apesar de já existirem trabalhos utilizando estes materiais como aglomerantes ativados alcalinamente, como Moraes (2017), Reig et al. (2013) e Robayo et al. (2016); não foi encontrado nenhum estudo utilizando o binário CFC e RCV. Portanto, este trabalho apresenta um estudo de uma nova combinação de precursor, que além de

ajudar a promover a tecnologia da ativação alcalina, ajuda na valorização dos resíduos.

### **1.1 Estrutura da dissertação**

O estudo foi dividido em sete capítulos, começando pela Introdução, descritos a seguir:

O capítulo II apresenta o objetivo principal e os específicos do trabalho.

O capítulo III consta a revisão bibliográfica abordando os principais tópicos sobre a ativação alcalina, como seu mecanismo de reação, ativadores e precursores, além de pesquisas sobre os resíduos utilizados, a cinza de folha de cana-de-açúcar e o resíduo de cerâmica vermelha.

O capítulo IV descreve os materiais e equipamentos utilizados, o procedimento experimental detalhado, além da caracterização dos precursores.

O capítulo V apresenta os resultados obtidos bem como as análises e discussões realizadas.

Por fim, o capítulo VI expõe as conclusões realizadas da dissertação.

## 6 CONCLUSÃO

---

As análises microestruturais das pastas e do ensaio de resistência à compressão das argamassas mostraram que a cinza de folha de cana-de-açúcar melhorou os resultados em relação ao controle.

As resistências mecânicas cresceram tanto com o tempo de cura quanto com o aumento da substituição do RCV pela CFC, atingindo resistência máxima de 41,6 MPa aos 90 dias a 25°C e 42,49 MPa aos 7 dias a 65°C, para a argamassa 50/50. A presença da CFC se mostrou benéfica nos resultados mecânicos, principalmente até 28 dias, onde se atingiu quase a totalidade da resistência mecânica final aos 90 dias. Por outro lado, as argamassas com mais quantidade de RCV mostraram crescimento de resistência mecânica continuamente até os 90 dias de cura. Observou-se também que a temperatura acelera a formação dos produtos, e conseqüentemente o ganho de resistência. As argamassas com 25-50% de CFC tiveram um desenvolvimento muito semelhante, com as resistências aos 3 dias de cura a 65°C equiparando-se com as de 90 dias de cura a 25°C.

Os ensaios para a análise da microestrutura convergiram com os resultados mecânicos. No ensaio de DRX realizado nas pastas a 25°C e a 65°C mostraram o deslocamento do desvio da linha base de  $2\theta = 15-35^\circ$  para  $2\theta = 17-39^\circ$ , indicando que houve a formação de géis cimentantes. Notou-se também, não ter desenvolvido nenhuma nova fase cristalina. No ensaio de FTIR, houve um deslocamento das bandas identificadas em nas matérias primas, ocasionando na diminuição dos valores, significando que houve formação de produtos hidratados. Por fim, no ensaio de MEV, as pastas com 50% de CFC apresentaram uma superfície mais densa do que o controle (0% de CFC), coincidindo com a maior resistência mecânica observada nas argamassas.

Portanto, a cinza de folha de cana-de-açúcar possui um excelente potencial para utilização como aglomerante ativado alcalinamente, contribuindo com a valorização dos resíduos.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha**. [S. l.], 2016. Disponível em: <[http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova\\_página\\_única - Cerâmica Vermelha.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova_página_única_-_Cerâmica_Vermelha.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2018.
- AHMARI, S.; ZHANG, L. The properties and durability of alkali-activated masonry units. In: PACHECO-TORGAL, F. et al. (Ed.) **Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars And Concretes**. Sawston: Woodhead, 2015. Cap. 24, p. 643-660.
- ALIABDO, A. A.; ELMOATY, A. E. M. A.; SALEM, H. A. Effect of cement addition, solution resting time and curing characteristics on fly ash based geopolymer concrete performance. **Construction And Building Materials**, Amsterdam, v. 123, p. 581-593, 2016.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. Site. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/>>. Acesso em: 10 maio 2018.
- AQUINO, G. S. et al. Sugarcane straw management and its impact on production and development of ratoons. **Industrial Crops And Products**, Amsterdam, v. 102, p. 58-64, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de redes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 30**: agregado miúdo: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 52**: agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009, p. 1-6.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. p.1-6.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Pesquisa setorial**. [S. l.], 2015. Disponível em: <[http://abrecon.org.br/pesquisa\\_setorial/](http://abrecon.org.br/pesquisa_setorial/)>. Acesso em: 07 maio 2018.
- BERNAL, S. A. et al. Management and valorisation of wastes through use in producing alkali-activated cement materials. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, Oxford, v. 91, n. 9, p.2365-2388, 2016.

BERNAL, S. A.; PROVIS, J. L.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; KRIVENKO, P. V.; KAVALEROVA, E.; PALACIOS, M.; SHI, C. **Binder chemistry: high-calcium alkali-activated materials**. In: PROVIS, J.; van DEVENTER, J. S. J. *Alkali Activated Materials: State-of-the-Art Report*. New York, London: Springer, 2014.

BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) and CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). **Sugar cane-based bioethanol: energy for sustainable development**. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no acordo de paris**. Brasília, DF, 2017. 66 p.

CALLIGARIS, G. A. et al. Assessing the pozzolanic activity of cements with added sugar cane straw ash by synchrotron X-ray diffraction and Rietveld analysis. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 98, p. 44-50, 2015.

CASTALDELLI, V. N. et al. Study of the binary system fly ash/sugarcane bagasse ash (FA/SCBA) in SiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O alkali-activated binders. **Fuel**, Oxford, v. 174, p. 307-316, 2016.

CHOO, H. et al. Compressive strength of one-part alkali activated fly ash using red mud as alkali supplier. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 125, p.21-28, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar: primeiro levantamento, maio 2018**. Brasília, DF, 2018. 66 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

CRISTELO, N. et al. Stabilisation of construction and demolition waste with a high fines content using alkali activated fly ash. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 170, p. 26-39, 2018.

CYR, M.; IDIR, R.; ESCADEILLAS, G. Use of metakaolin to stabilize sewage sludge ash and municipal solid waste incineration fly ash in cement-based materials. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 243, p. 193-203, 2012.

DEVENTER, J. S. J. **Geopolymers: structure, processing, properties and industrial applications**. Oxford: Woodhead, 2009.

DUXSON, P. Geopolymer precursor design. In: PROVIS, J. L.; VAN DEVENTER, J. S. J. **Geopolymers: structure, processing, properties and industrial applications**. Oxford: Woodhead, 2009. p. 1-461.

DUXSON, P.; FERNÁNDEZ-JIMENEZ, A.; PROVIS, J. L.; LUKEY, G. C.; PALOMO, A.; van DEVENTER, J. S. J. *Geopolymer technology: the current state of the art*. **Journal of Materials Science**, New York, v. 42, p. 2917-2933, 2007.

- DUXSON, P. et al. The role of inorganic polymer technology in the development of 'green concrete'. **Cement and Concrete Research**, Kidlington, v. 37, n. 12, p.1590-159, 2007.
- FAIRBAIRN, E. M. R. et al. Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO<sub>2</sub> emissions reduction and potential for carbon credits. **Journal of Environmental Management**, London, v. 91, n. 9, p. 1864-1871, 2010.
- FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. et al. The role played by the reactive alumina content in the alkaline activation of fly ashes. **Microporous and Mesoporous Materials**, Amsterdam, v. 91, n. 1-3, p.111-119, 2006.
- FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PALOMO, A.; CRIADO, M. Microstructure development of alkali-activated fly ash cement: a descriptive model. **Cement and Concrete Research**, Kidlington, v. 35, n. 6, p. 1204-1209, jun. 2005.
- FERNANDEZ-JIMENEZ, A.; PUERTAS, F. Effect of activator mix on the hydration and strength behaviour of alkali-activated slag cements. **Advances In Cement Research**, London, v. 15, n. 3, p. 129-136, jul. 2003.
- FERREIRA, E. G. A. et al. Assessment of Greener Cement by employing thermally treated sugarcane straw ashes. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 141, p.343-352, jun. 2017.
- FRÍAS, M. et al. Advances on the development of ternary cements elaborated with biomass ashes coming from different activation process. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 136, p. 73-80, abr. 2017.
- FRÍAS, M.; VILLAR-COCIÑA, E.; VALENCIA-MORALES, E. Characterisation of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: Calcining temperature and kinetic parameters. **Waste Management**, Kidlington, v. 27, n. 4, p.533-538, jan. 2007. .
- GARCIA-LODEIRO, I.; PALOMO, A.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.. An overview of the chemistry of alkali-activated cement-based binders. In: PACHECO-TORGAL, F. et al. **Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes**. United Kingdom: Elsevier, 2014. Cap. 2. p. 19-47.
- GHARZOUNI, A. et al. Alkali-activated materials from different aluminosilicate sources: Effect of aluminum and calcium availability. **Journal of Non-crystalline Solids**, Amsteden, v. 484, p.14-25, 2018.
- GÖRHAN, G.; ASLANER, R.; ŞINIK, O. The effect of curing on the properties of metakaolin and fly ash-based geopolymer paste. **Composites Part B: Engineering**, Kidlington, v. 97, p. 329-335, 2016.
- HAJIMOHAMMADI, A.; PROVIS, J. L.; VAN DEVENTER, J. S. J. Time-resolved and spatially-resolved infrared spectroscopic observation of seeded nucleation controlling geopolymer gel formation. **Journal of Colloid and Interface Science**, Maryland Heights, v. 357, n. 2, p.384-392, 2011.

HOSSAIN, A. et al. Properties of concrete containing vitreous calcium aluminosilicate pozzolan. **Transportation Research Record**: Journal of the Transportation Research Board, Thousand Oaks, v. 2070, p. 32-38, 2008.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY – IAE. **Cement Technology Roadmap 2009 carbon emissions reductions up to 2050**. [S. l.], 2009. Disponível online em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Cement.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

ISTUQUE, D. B. et al. Behaviour of metakaolin-based geopolymers incorporating sewage sludge ash (SSA). **Materials Letters**, Amsterdam, v. 180, p. 192-195, 2016.

JAFER, H. et al. Stabilisation of soft soil using binary blending of high calcium fly ash and palm oil fuel ash. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 152, p. 323-332, 2018.

KEPPERT, M. et al. Red-clay ceramic powders as geopolymer precursors: Consideration of amorphous portion and CaO content. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 161, p.82-89, set. 2018.

KOMNITSAS, K. et al. Effect of synthesis parameters on the quality of construction and demolition wastes (CDW) geopolymers. **Advanced Powder Technology**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p. 368-376, 2015.

KRIZAN, D; ZIVANOVIC, B. Effects of dosage and modulus of water glass on early hydration of alkali–slag cements. **Cement And Concrete Research**, Kidlington, v. 32, n. 8, p.1181-1188, 2002.

KRÓL, M. et al. Influence of alkali metal cations/type of activator on the structure of alkali-activated fly ash – ATR-FTIR studies. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, Amsterdam, v. 198, p.33-37, 2018.

LEAL, M. R. L. V. et al. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 53, p.11-19, 2013.

LEMOS, S. V. et al. Economic efficiency of two baling systems for sugarcane straw. **Industrial Crops And Products**, Amsterdam, v. 55, p. 97-101, 2014. .

LISBOA, I. P. et al. Guidelines for the recovery of sugarcane straw from the field during harvesting. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 96, p. 69-74, 2017.

LUCAS, E. A. et al. Clay-based construction and demolition waste as a pozzolanic addition in blended cements. Effect on sulfate resistance. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 127, p.950-958, nov. 2016.

MCLELLAN, B. C. et al. Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 19, n. 9-10, p.1080-1090, 2011.

MEHTA, A.; SIDDIQUE, R. An overview of geopolymers derived from industrial by-products. **Construction And Building Materials**, Amsterdam, v. 127, p. 183-198, 2016.

MOHAMMADHOSSEINI, H. et al. Enhanced performance for aggressive environments of green concrete composites reinforced with waste carpet fibers and palm oil fuel ash. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 185, p. 252-265, 2018.

MOHAMMED, S. Processing, effect and reactivity a ssesment of artificial pozzolans obtained from clays and clay wastes: A review. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 140, p.10-19, jun. 2017.

MORAES, J.C.B. et al. Assessment of sugar cane straw ash (SCSA) as pozzolanic material in blended Portland cement: Microstructural characterization of pastes and mechanical strength of mortars. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 94, p. 670-677, 2015.

MORAES, J.C.B. et al. Effect of sugar cane straw ash (SCSA) as solid precursor and the alkaline activator composition on alkali-activated binders based on blast furnace slag (BFS). **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 144, p. 214-224, jul. 2017.

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**, Amsterdam, v. 124, p.148-154, 2016.

MORAES, J.C.B. **Study on sugar cane straw ash (SCSA) in alkali-activated binders**. 2017. 186 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2017.

MOUKANNAA, S. et al. Recycling of phosphate mine tailings for the production of geopolymers. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 185, p.891-903, 2018.

NEPOMUCENO, M. C. S.; ISIDORO, R. A. S.; CATARINO, J. P. G. Mechanical performance evaluation of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates from industrial brick waste. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 165, p. 284-294, 2018.

OLIVEIRA, D. C. G. et al. Physical and mechanical performance of mortars with ashes from straw and bagasse sugarcane. **International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials And Metallurgical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 1, p.1-4, 2015.

OSS, H. G.; PADOVANI, A. C. Cement Manufacture and the Environment Part II: Environmental Challenges and Opportunities. **Journal of Industrial Ecology**, Hoboken, v. 7, n. 1, p. 93-126, 2003.



PACHECO-TORGAL, F. Introduction fo Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes. In: PACHECO-TORGAL, F. et. al. (Ed.). **Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes**. Sawston: Woodhead, 2014. p. 1–18.

PACHECO-TORGAL, F. Introduction to Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes. In: PACHECO-TORGAL, F. et. al. (Ed.). **Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes**. Sawston: Woodhead, 2015. p.1-16.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Reusing ceramic wastes in concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 24, n. 5, p.832-838, 2010.

PASSUELLO, A. et al. Evaluation of the potential improvement in the environmental footprint of geopolymers using waste-derived activators. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 166, p. 680-689, nov. 2017.

PAYÁ, J. et al. Reuse of aluminosilicate industrial waste materials in the production of alkali-activated concrete binders. In: PACHECO-TORGAL, F. et. al. (Ed.). **Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes**. Sawston: Woodhead, 2015. p. 487-518.

PEREIRA, A. M. et al. Mechanical and durability properties of alkali-activated mortar based on sugarcane bagasse ash and blast furnace slag. **Ceramics International**, Kidlington, v. 41, n. 10, p.13012-13024, 2015.

PEREIRA-DE-OLIVEIRA, L. A.; CASTRO-GOMES, J. P.; SANTOS, P. M. S. The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 31, p. 197-203, 2012.

PEYNE, J. et al. Influence of calcium addition on calcined brick clay based geopolymers: A thermal and FTIR spectroscopy study. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 152, p. 794-803, 2017.

PROVIS, J. L. Activating solution chemistry for geopolymers. In: PROVIS, J.; van DEVENTER, J. S. J. **Geopolymers: structure, processing, properties and industrial applications**. Sawston: Woodhead, 2009.

PROVIS, J. L. et al. The Role of Mathematical Modelling and Gel Chemistry in Advancing Geopolymer Technology. **Chemical Engineering Research and Design**, London, v. 83, n. 7, p. 853-860, 2005.

PROVIS, J. L. et al. Binder chemistry - Low -calcium alkali-activated materials. In: PROVIS, John L.; VAN DEVENTER, Jannie S. J. **Alkali-Activated Materials: State-of-the-Art Report**: Springer, 2014. Cap. 4. p. 135-179.

PROVIS, J. L. Alkali-activated materials. **Cement and Concrete Research**, Amsterdam, p. 1-9, 2017.

PROVIS, John L. Geopolymers and other alkali activated materials: why, how, and what?. **Materials and Structures**, Dordrecht, v. 47, n. 1-2, p. 11-25, 2013.

PUERTAS, F. et al. Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production. **Cement and Concrete Composites**, Kidlington, v. 30, n. 9, p. 798-805, 2008.

RAKHIMOVA, N. R.; RAKHIMOV, R. Z. Alkali-activated cements and mortars based on blast furnace slag and red clay brick waste. **Materials & Design**, London, v. 85, p. 324-331, 2015.

RASHID, K. et al. Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 154, p. 829-840, 2017.

REIG, L. et al. Influence of the activator concentration and calcium hydroxide addition on the properties of alkali-activated porcelain stoneware. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 63, p. 214-222, 2014.

REIG, L. et al. Alkaline Activation of Ceramic Waste Materials. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 4, n. 4, p.729-736, 2013.

REIG, L. et al. Compressive strength and microstructure of alkali-activated mortars with high ceramic waste content. **Ceramics International**, Kidlington, v. 43, n. 16, p. 13622-13634, 2017.

REIG, L. et al. Influence of calcium aluminate cement (CAC) on alkaline activation of red clay brick waste (RCBW). **Cement and Concrete Composites**, Kidlington, v. 65, p. 177-185, 2016.

REIG, L. et al. Properties and microstructure of alkali-activated red clay brick waste. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 43, p. 98-106, 2013.

REIG, L. et al. Use of Ceramic Sanitaryware as an Alternative for the Development of New Sustainable Binders. **Key Engineering Materials**, Pfaffikon, v. 668, p. 172-180, 2015.

ROBAYO, R. A. et al. Alternative cements based on alkali-activated red clay brick waste. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 128, p.163-169, 2016.

ROBAYO-SALAZAR, R. A.; MEJÍA-ARCILA, J. M.; GUTIÉRREZ, R. M. Eco-efficient alkali-activated cement based on red clay brick wastes suitable for the manufacturing of building materials. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 166, p. 242-252, 2017.

ROBAYO-SALAZAR, R. A.; RIVERA, J. F.; GUTIÉRREZ, R. M. Alkali-activated building materials made with recycled construction and demolition wastes. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 149, p.130-138, set. 2017.

RODRÍGUEZ, E. D. et al. Geopolymers based on spent catalyst residue from a fluid catalytic cracking (FCC) process. **Fuel**, Oxford, v. 109, p. 493-502, 2013.

SCREMIN, L. B. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SEBRAE / ESPM (Brasil) (Comp.). **Cerâmica vermelha: estudos de mercado**. [S. l.]: Sebrae, 2008. Disponível em: <<http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/09/ESTUDO-CERAMICA-VERMELHA.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

SHI, C.; JIMÉNEZ, A. F. Z.; PALOMO, A. New cements for the 21st century: the pursuit of an alternative to Portland cement. **Cement and Concrete Research**, Amsterdam, v. 41, n. 7, p. 750-763, 2011.

SHI, C.; KRIVENKO, P. V.; DELLA, R. **Alkali-Activated cements and concretes**. London: Taylor & Francis, 2006. 388 p.

SUN, Z. et al. Synthesis and thermal behavior of geopolymer-type material from waste ceramic. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 49, p. 281-287, 2013.

TASHIMA, M. M. et al. Effect of curing time on microstructure and mechanical strength development of alkali activated binders based on vitreous calcium aluminosilicate (VCAS). **Bulletin of Materials Science**, Amsterdam, v. 36, n. 2, p. 245-249, 2013.

TASHIMA, M. M. **Producción y caracterización de materiales cementantes a partir del silicoaluminato cálcico vítreo (VCAS)**. 2012. 454 f. Tese (Doutorado) – Universitat Politècnica de València, València, 2012.

TASHIMA, M. M. et al. Alkali activation of vitreous calcium aluminosilicate derived from glass fiber waste. **Journal Of Sustainable Cement-based Materials**, v. 1, n. 3, p.83-93, 2012a.

TASHIMA, M.M. et al. New geopolymeric binder based on fluid catalytic cracking catalyst residue (FCC). **Materials Letters**, v. 80, p.50-52, ago. 2012.

TEIXEIRA, S.R. et al. Valorization of sugarcane bagasse ash: Producing glass-ceramic materials. **Journal of Environmental Management**, London, v. 134, p. 15-19, 2014.

TUYAN, M.; ANDIÇ-ÇAKIR, Ö.; RAMYAR, K.. Effect of alkali activator concentration and curing condition on strength and microstructure of waste clay brick powder-based geopolymer. **Composites Part B: Engineering**, Kidlington, v. 135, p. 242-252, 2018.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Produção de cana-de-açúcar, 2004/2005 - 2014/2015**. [S. l.], 2014. Available in: <<http://www.unicadata.com.br>>. Accessed in: 14 maio 2018.

VAN DEVENTER, J. S. J.; PROVIS, J. L.; DUXSON, Peter. Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement. **Minerals Engineering**, Kidlington, v. 29, p. 89-104, 2012.

VASCONCELOS, A. L. S. et al. Greenhouse gas emission responses to sugarcane straw removal. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 113, p. 15-21, 2018.

WANG, Y. ; ZHAO, J. Comparative study on flame retardancy of silica fume-based geopolymer activated by different activators. **Journal of Alloys and Compounds**, Amsterdam, v. 743, p.108-114, 2018.

WANG, J. et al. Influence of the combination of calcium oxide and sodium carbonate on the hydration reactivity of alkali-activated slag binders. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 171, p. 622-629, 2018.

WBCSD. **World Business Council for Sustainable Development**. [S. l.], 2018. Disponível em: <<http://www.wbcscement.org/index.php>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

ZAHARAKI, D.; GALETAKIS, M.; KOMNITSAS, K. Valorization of construction and demolition (C&D) and industrial wastes through alkali activation. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 121, p. 686-693, 2016.

ZHANG, L.; AHMARI, S. ; ZHANG, J. Synthesis and characterization of fly ash modified mine tailings-based geopolymers. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 25, n. 9, p. 3773-3781, 2011.