

Análise térmica de pastas a base de cal hidratada com utilização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar

Thermal analysis of pastes made of hydrated lime with the use of ash from sugarcane bagasse

¹Bruno Leandro dos Santos Rodrigues, ²Alex Neves Junior

¹Mestre em Engenharia de Edificações e Ambiental, Professor do Instituto Federal de Mato Grosso – Campus Várzea Grande (bruno.rodrigues@vgd.ifmt.edu.br)

²Doutor em Engenharia Civil, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, (alexnevesjr@gmail.com)

RESUMO: O Brasil e a Índia respondem em conjunto por mais da metade da produção mundial da cana-de-açúcar. Durante o beneficiamento da cana, gera-se a cinza do bagaço, um dos principais resíduos desse processo. Usualmente, a cinza do bagaço é descartada na natureza podendo gerar sérios problemas ambientais. Esta cinza, devido a sua composição química, contém grande quantidade de SiO₂ a qual apresentam potencial para ser utilizada como material pozolânico na construção civil visando a produção de argamassas. Entre os materiais aglomerantes utilizados para produção de argamassas, o cimento Portland é o mais utilizado. Entretanto, devido os impactos ambientais ocasionados durante sua produção, torna-se de extrema importância pesquisas a fim de encontrar um substituto com menor impacto ambiental. Entre estes, foca-se no uso da cal hidratada, um aglomerante com potencialidade de captura de CO₂. Ante o exposto, esta pesquisa objetivou analisar termicamente pastas a base de cal hidratada com utilização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC). Foram escolhidas pastas utilizando a cinza do bagaço como substituto parcial da cal hidratada, nos teores de 5, 10 e 15%, considerando o fator água/material aglomerante que resultasse no mesmo índice de consistência. Para a caracterização térmica das amostras, realizou-se ensaios de termogravimetria, termogravimetria derivativa e calorimetria isotérmica. Os ensaios de termogravimetria e termogravimetria derivativa possibilitaram calcular a perda de massa dos hidróxidos e carbonatos. Os resultados indicaram que a medida que se elevou a porcentagem de substituição de CBC na amostra, ocorreu à diminuição dos hidróxidos e aumento dos carbonatos, trazendo como consequência a diminuição da alcalinidade das argamassas. Conclui-se que é possível utilizar-se da CBC, resíduo agroindustrial, como substituto parcial na fabricação de pastas a base de cal hidratada.

Palavras chave: Termogravimetria, Termogravimetria derivativa, pastas a base de cal hidratada.

ABSTRACT: Brazil and India together account for more than half of the world's sugarcane production. During the processing of sugarcane, bagasse ash is generated, one of the main residues of this process. Usually, bagasse ash is discarded in nature and can cause serious environmental problems. This ash, due to its chemical composition, contains a large amount of SiO₂, which has the potential to be used as pozzolanic material in construction for the production of mortars. Among the binder materials used for the production of mortars, Portland cement is the most widely used. However, due to the environmental impacts caused during its production, research is extremely important in order to find a substitute with less environmental impact. Among these, it focuses on the use of hydrated lime, a binder with the potential to capture CO₂. In view of the above, this research aimed to analyze thermally slides based on hydrated lime with the use of sugarcane bagasse (CBC) ash. Pastes were selected using bagasse ash as a partial substitute for hydrated lime, at 5, 10 and 15%, considering the water / binder material that resulted in the same consistency index. For the thermal characterization of the samples, thermogravimetry, derivative thermogravimetry and isothermal calorimetry were performed. The thermogravimetry and derivative thermogravimetry tests allowed to calculate the mass loss of the hydroxides and carbonates. The results indicated that as the percentage of substitution of CBC in the sample increased, the hydroxides decreased and carbonates increased, resulting in a decrease in the alkalinity of the mortars. It is concluded that it is possible to use the CBC, agroindustrial residue, as a partial substitute in the manufacture of pastes based on hydrated lime.

Keywords: Thermogravimetry, derivative thermogravimetry, hydrated cal-based pasts.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de gerar energia a partir de fontes renováveis vem impulsionando a produção de álcool etanol a partir da cana-de-açúcar (PAULA *et al.*, 2009). O Brasil se

posiciona atualmente como um dos maiores produtores mundiais de álcool proveniente da cana de açúcar. Porém, durante a extração do caldo da cana-de-açúcar, é gerada grande quantidade de bagaço, maior resíduo da agricultura brasileira. Aproximadamente 95% de todo o bagaço produzido no Brasil é queimado para geração de vapor, gerando assim, como resíduo a cinza do bagaço, cujo descarte não obedece a práticas ambientalmente adequadas, configurando-se em sério problema ambiental (SOUZA *et al.*, 2007; CORDEIRO *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2009; PAULA *et al.*, 2009).

O uso de resíduos gerados por diversos setores da economia, inclusive, agroindustriais na construção civil é vantajoso, sobretudo pela redução de disponibilidade de matérias-primas não renováveis, necessárias à construção civil (SAVASTANO e WARDEN, 2003). Os resíduos que se destacam nesse uso são as cinzas minerais oriundas de diversas atividades agroindustriais, pois as mesmas apresentam altas porcentagens de sílica (SiO₂), o que permite seu uso como pozolanas (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Vários estudos a nível mundial e nacional analisaram a utilização de cinza do bagaço da cana-de-açúcar como meio para a substituição parcial do cimento Portland, assim como, uso da mesma cinza como agregado na produção do cimento Portland (PAULA *et al.* 2009; COLLATTO *et al.* 2011; TONNAYOPAS, 2013; VANDERLEI *et al.* 2014). Porém, uma análise bibliográfica sistemática sobre o tema nos últimos cinco anos indicou que não há ainda estudos em nível mundial e/ou nacional relacionados ao uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar juntamente com a cal hidratada, foco de estudo desta pesquisa.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), para produção de uma tonelada de cimento são necessários cerca de 4 GJ de energia e são liberados cerca de 900 kg de CO₂. Nesta pesquisa propõe-se o uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em materiais com a cal hidratada CH III ao invés do cimento Portland, comumente utilizado, tendo em vista que, segundo John *et al.* (2014), para produção de cal CH-III são liberados no máximo cerca de 547 kg de CO₂ por tonelada de produto, 40% a menos que a produção de uma tonelada de cimento. São ainda necessários cerca de 0,5 GJ para sua produção, reduzindo assim, a liberação de CO₂ e gasto energético.

Sendo assim, esta pesquisa objetivou analisar termicamente pastas a base de cal hidratada com utilização de cinza do bagaço da cana-de-açúcar, visando observar o processo de hidratação e monitorar a variação de massa de determinada amostra em função de sua temperatura.

2. MATERIAIS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram cal hidratada CH-III, bagaço da cana-de-açúcar e água.

A cal utilizada na pesquisa foi cal hidratada CH III, que previamente ao uso para produção da pasta foi acondicionada no Laboratório de Materiais de Construção Civil, da Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia (FAET/UFMT).

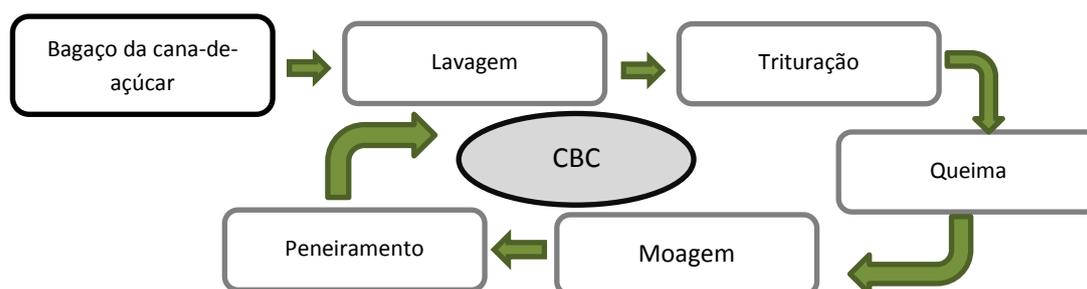
O bagaço da cana-de-açúcar utilizado na pesquisa foi triturado, para produção da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, na Fazenda Experimental da UFMT, localizada na cidade de Santo Antônio do Leverger - Mato Grosso.

3. MÉTODOS

3.1 Produção da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A produção das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) ocorreu em laboratório em condições de queima e moagem controladas, seguindo as etapas descritas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma simplificado das etapas de produção da CBC.



A lavagem do bagaço se deu de forma manual em água corrente, retirando as impurezas oriundas da lavoura. Após a lavagem, o bagaço permaneceu em temperatura ambiente para secagem por 24 h. Posteriormente procedeu-se a trituração em engenho da marca Pinheiro, modelo PP-35, em dois ciclos de trituração.

Previamente a queima, o bagaço triturado foi colocado por 24 h em estufa para secagem e esterilização da marca FANEM, modelo 320-SE, a 120°C, visando a sua secagem total. Em seguida, utilizou-se o forno Mufla do Laboratório de Análises Físico-químicas de Água e Resíduos (LAFCAR/DESA/UFMT), modelo e marca LINN Elektro Therm AK-MODEL, o material obtido foi aquecido à taxa de 1,67 °C.min⁻¹, permanecendo durante 6 horas no patamar de queima de 600 °C (CORDEIRO *et al.*, 2008).

A moagem do bagaço triturado ocorreu por meio de moinho de bolas do tipo cascata, marca Bender, modelo S295, com carga de 6,787 kg (19 esferas) durante 120 minutos, com velocidade de rotações de 33,33 rpm. Do material de CBC proveniente da moagem, utilizou-se somente aquele passante da malha de 75 µm (peneira *mesh* 200).

3.2 Caracterização físico-química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A caracterização das matérias primas (CBC e Cal CH III) ocorreu por meio da análise granulométrica e do ensaio de Fluorescência de Raios-X. A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás (LABOGEF/IESA/UFG) por meio de analisador de partículas a laser da marca *Malvern* modelo *Mastersizer* 2000 com agente dispersante água. Os diâmetros de partículas retidas acumuladas em porcentagem obtidos no ensaio estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise granulométrica das matérias primas

Material Analisado	Área de superfície específica (m ² /g)	Diâmetro de partículas retidas acumuladas		
		D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)
Cal Hidratada CH III	1,320	1,717	20,453	207,233
CBC120	1,020	2,897	15,089	59,166

A análise semiquantitativa por espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX) foi empregada a fim de determinar a composição química da CBC, sendo a mesma realizada no Núcleo de Materiais e Tecnologias Sustentáveis (NUMATS/COPPE/UFRJ) por meio do equipamento de análise térmica Shimadzu modelo EDX720, obtendo-se a composição química indicada na Tabela 2.

Tabela 21 – Fluorescência de Raio X das matérias primas

Composto	Cal	CBC
MgO	23,00	3,08
Al ₂ O ₃	0,50	6,39
SiO ₂	1,28	48,51
SO ₃	0,19	2,27
K ₂ O	0,09	6,36
CaO	50,52	4,40
ZnO	0,23	0,22
P ₂ O ₅	0,00	1,90
Cl	0,00	0,33
Fe ₂ O ₃	0,00	12,18
ZrO ₂	0,00	0,18
PF	24,18	14,18

3.3 Produção das pastas

As pastas foram produzidas com misturas binárias (cal + CBC), em quatro percentuais de substituição parcial da cal pela CBC na proporção de 0, 5, 10 e 15%, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3 – Nomenclatura adotada das pastas para os diferentes teores de substituição

Nomenclatura	Composição
PA-CC0	Cal + CBC 0%
PA-CC5	Cal + CBC 5%
PA-CC10	Cal + CBC 10%
PA-CC15	Cal + CBC 15%

Para cada teor de substituição foi encontrado a relação água/material aglomerante (a/agl), com o objetivo que todas as pastas produzidas apresentassem a mesma consistência, sendo esta determinada por meio do ensaio de consistência normal de pastas (Tabela 4).

Tabela 4 – Índice de consistência e fator a/agl das pastas

Material	Penetração Vicat modificado (mm)	Fator a/agl
PA-CC0	22	0,64
PA-CC5	19	0,71
PA-CC10	21	0,76
PA-CC15	19	0,80

A confecção das pastas foi feita em massa, por meio de uso de balança de precisão (0,001 g), homogeneizando-se os materiais sólidos e acrescentando-se a água no final. Na sequência, realizou-se a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 2,5 cm de diâmetro por 5,0 cm de altura. Os corpos de prova foram mantidos em cura em câmara úmida (T 23 °C/ UR 85%) durante 7 dias, para posterior desmolde.

3.4 Ensaios de análise térmica

As técnicas termogravimetria (TG) e termogravimetria derivada (DTG) foram utilizadas a fim de constatar os principais produtos de hidratação gerados nas pastas. Tais procedimentos foram aplicados às pastas confeccionadas para determinações da formação do

C-H, nas idades de 7, 14 e 29 dias. Tais ensaios permitem acompanhar a evolução dos produtos hidratados.

O ensaio nas pastas foi realizado no Laboratório Multiusuário de Técnicas Analíticas (LAMUTA/FAGEO/UFMT) com a utilização do equipamento de análise térmica *Shimadzu* modelo DTG-60H *Simultaneous DTA-TG Apparatus*. As amostras foram colocadas em um cadinho cilíndrico de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (70 μL) com massas de aproximadamente 7 mg, e submetidas a uma rampa de aquecimento de 10°C/min, no intervalo de 35 a 1000 °C.

Por meio da DTG foi possível averiguar os eventos térmicos (“picos”) referentes as temperaturas de desidroxilação do hidróxido de magnésio e de cálcio, assim como a descarbonatação do carbonato de magnésio e cálcio. Por meio da TG, foi possível averiguar a porcentagem de massa decomposta destes compostos.

Cabe registrar que para cada pasta analisada são utilizadas diferentes faixas de temperatura para eventos térmicos semelhantes, uma vez que é registrada temperatura mínima e máxima que correspondem ao início e fim do evento térmico.

Sendo assim, o primeiro evento térmico referente a perda da desidroxilação do hidróxido de magnésio e cálcio, calculada a perda de massa conforme Equação 1.

$$PM_H = \text{Massa}_{T.inicial} - \text{Massa}_{T. final} \quad (1)$$

em que PM_H é a Perda de massa dos hidróxidos (%); $\text{Massa}_{T.inicial}$ é a Massa observada na TG à temperatura inicial do evento térmico (%); e, $\text{Massa}_{T.final}$ é a Massa observada na TG à temperatura final do evento térmico (%).

Enquanto que o segundo evento térmico se refere a descarbonatação do carbonato de magnésio e cálcio, calculada a perda de massa conforme Equação 2.

$$PM_C = \text{Massa}_{T.inicial} - \text{Massa}_{T. final} \quad (2)$$

em que PM_C é a Perda de massa dos carbonatos (%); $\text{Massa}_{T.inicial}$ é a Massa observada na TG à temperatura inicial do evento térmico (%); e, $\text{Massa}_{T.final}$ é a Massa observada na TG à temperatura final do evento térmico (%).

Foram gerados por meio do software *SigmaPlot*®, gráficos das curvas de TG/DTG. Com as perdas de massa calculadas, foram confeccionados gráficos de Barra demonstrando a massa decomposta dos hidróxidos de magnésio e de cálcio e dos carbonatos de magnésio e de cálcio para cada tempo de cura (7,14 e 29 dias).

O ensaio de calorimetria isotérmica foi realizado por meio de calorímetro da marca *TA Instruments* modelo *TAM Air* 8 canais, pertencente ao Núcleo de Materiais e Tecnologias Sustentáveis (NUMATS/COPPE/UFRJ). O software de aquisição de dados utilizado foi o *TAM Air Assistant*. Por possuir vários canais, o ensaio foi realizado de uma única vez, comparando a referência PA-CC0 com as demais pastas PA-CC5, PA-CC10 e PA-CC15.

Os resultados foram exportados em arquivos de texto (.txt) para serem tratados no *Microsoft Excel*® e posteriormente confeccionou-se gráficos, por meio do software *SigmaPlot*®, das curvas de energia térmica e de calor de hidratação para as pastas analisadas monitoradas até a idade de 120 horas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 (A, B e C) apresenta as curvas de TG/DTG para as pastas PA-CC0, PA-CC5, PA-CC10 e PA-CC15 nas diferentes idades de curas. O primeiro pico encontrado na DTG representa a perda de água de hidróxido de magnésio e hidróxido de cálcio, enquanto que o segundo pico encontrado na DTG representa a perda de dióxido de carbono (CO_2) do

carbonato de magnésio e cálcio, respectivamente.

Figura 2 (A) – TG/DTG 7 dias

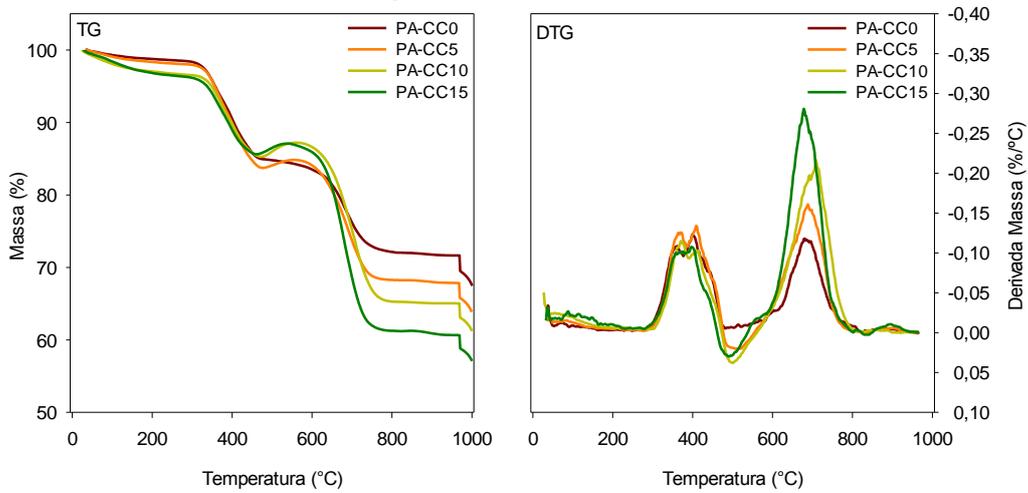


Figura 2 (B) – TG/DTG 14 dias

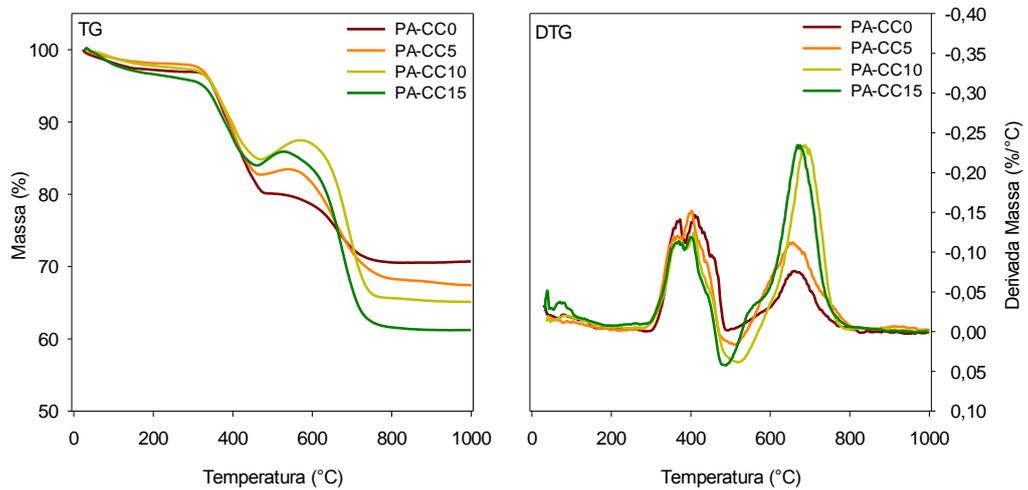
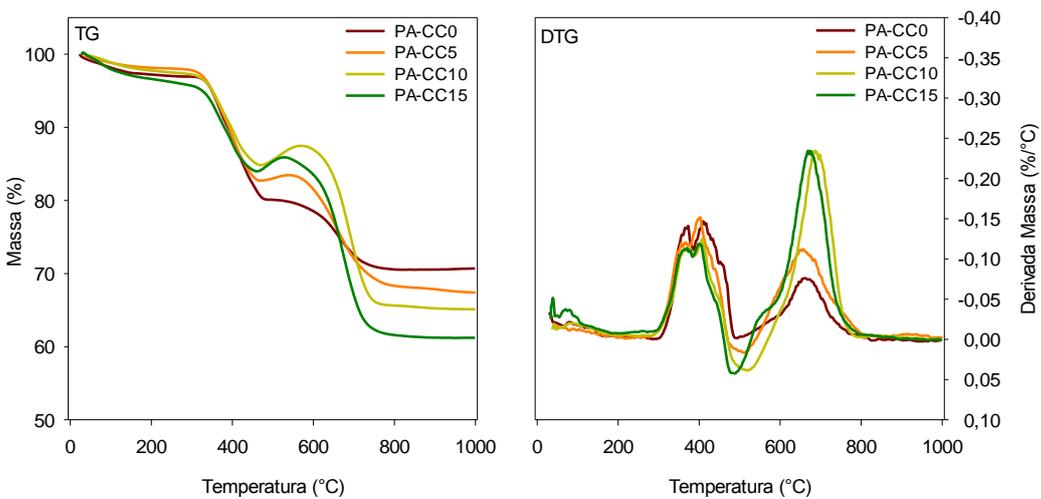


Figura 2 (C) – TG/DTG 29 dias

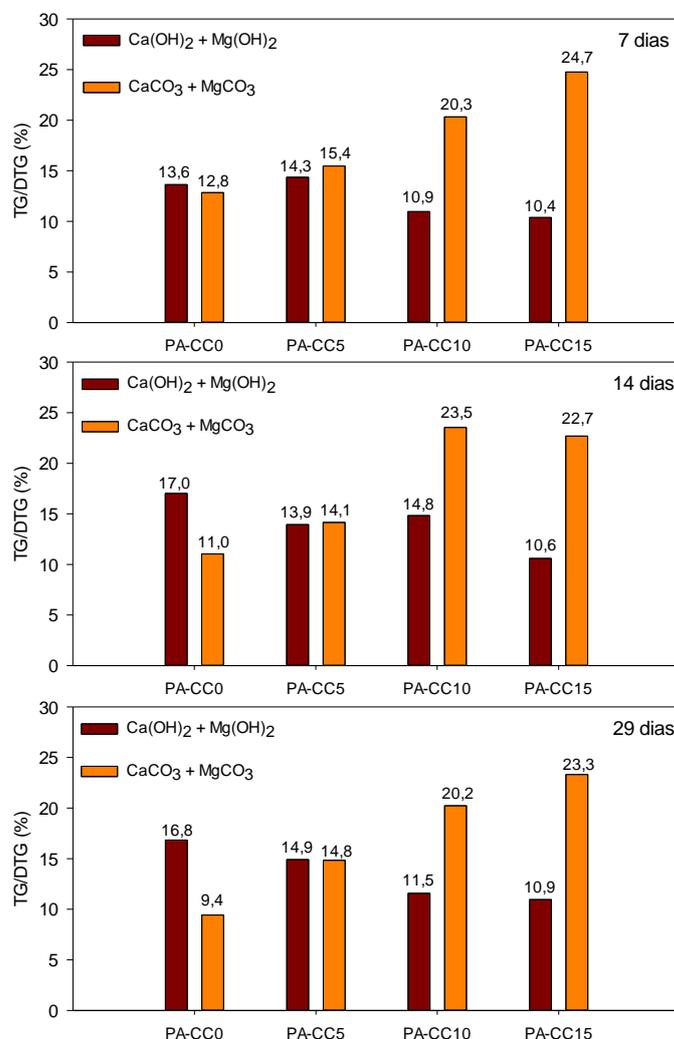


De maneira geral, o início da perda de água dos hidróxidos de cálcio e magnésio ocorreu ao atingir temperatura aproximada de 250 °C e com finalização, coincidente com o início da perda de CO₂ dos carbonatos de cálcio e magnésio na faixa dos 500 °C. O fim da

perda de CO₂ dos carbonatos ocorreu a temperatura aproximada de 800 °C.

Por meio da TG foi possível calcular as porcentagens de perdas de H₂O referentes à desidroxilação dos hidróxidos de magnésio e hidróxido de cálcio, assim como a perda de CO₂ da descarbonatação dos carbonatos de magnésio e de cálcio, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 – Perdas de H₂O e CO₂ dos componentes.



Observa-se a diminuição dos hidróxidos de cálcio e magnésio e aumento dos carbonatos de cálcio e magnésio conforme o aumento da quantidade de CBC na amostra. Nota-se que houve evolução entre as pastas de PA-CC0 a PA-CC15, ou seja, com a diminuição da cal e aumento da CBC ocorre a diminuição dos hidróxidos e aumento dos carbonatos, relacionado ao fato de, apesar de haver mais CBC, também há maior quantidade de água. Isso indica que, com o maior fator a/agl, maior a porosidade da amostra, facilitando assim a carbonatação natural do material.

Nota-se que a presença de água para um mesmo nível de consistência se apresentou como um fator de extrema importância neste processo.

Na Figura 4 estão representadas as curvas de energia térmica das pastas PA-CC0, PA-CC5, PA-CC10 e PA-CC15 até 120 horas durante o ensaio de calorimetria isotérmica. Enquanto que na Figura 5, apresenta-se apenas a curva para as primeiras 40 horas. Nota-se que a maior energia térmica liberada ocorre na pasta PA-CC0, e que a medida que adiciona-se maior quantidade de CBC na amostra, ocorre redução da quantidade de energia térmica liberada.

Figura 4 – Curvas de Energia Térmica das pastas PA-CC0, PA-CC5, PA-CC10, PA-CC15

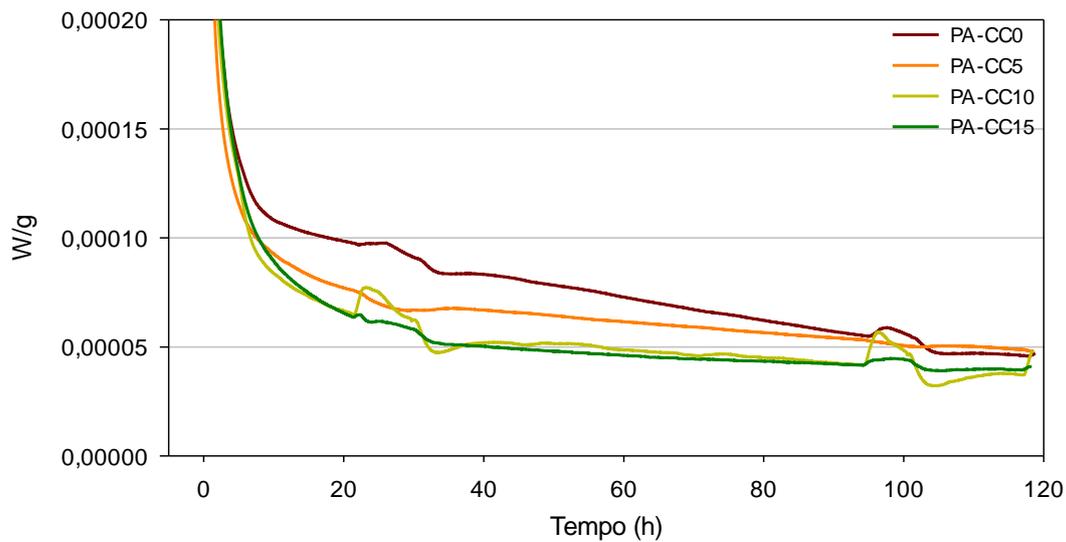
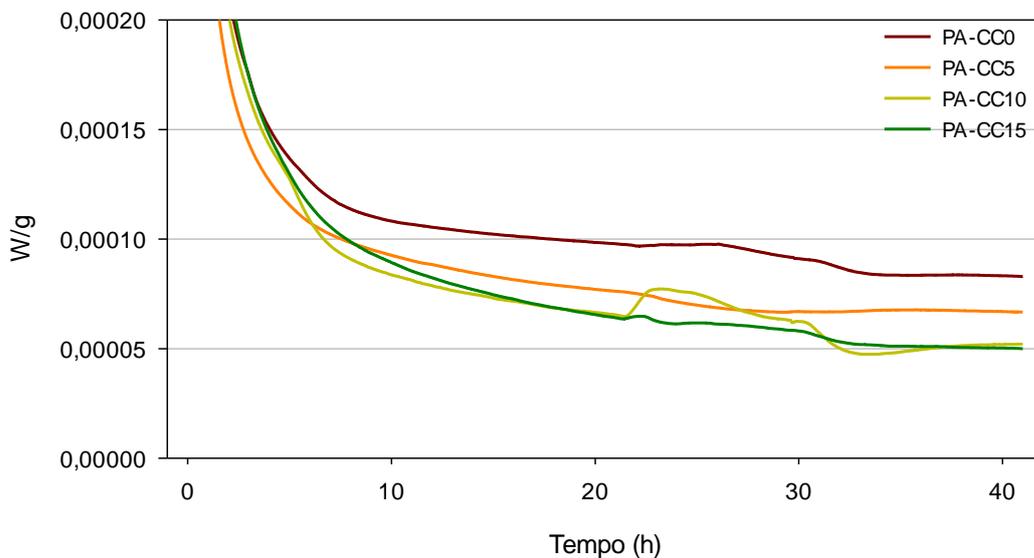


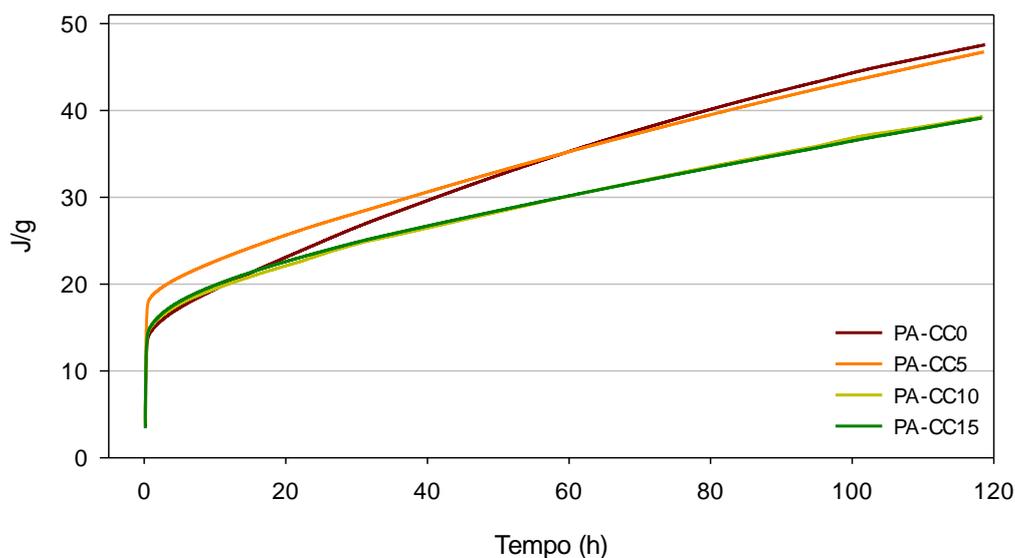
Figura 5 - Curvas de Energia Térmica das pastas PA-CC0, PA-CC5, PA-CC10, PA-CC15 nas primeiras 40 horas



Devido à substituição de CBC nas pastas estudadas, para manter a consistência das pastas, houve a necessidade de elevar o teor a/agl (Tabela 2) o que ocasiona elevação na quantidade de água e, conseqüente, diminuição da liberação de calor.

A PA-CC10 e PA-CC15 apresentam evolução semelhantes na liberação de calor de hidratação durante as 120 horas, enquanto a PA-CC0 e PA-CC5 apresentaram redução em seus valores. Isto está relacionado com o fato de as PA-CC10 e PA-CC15 apresentarem maior relação a/agl e por sua vez, maior quantidade de água, inibindo a liberação de calor (Figura 6).

Figura 6 – Calor de hidratação das pastas PA-CC0, PA-CC5, PA-CC10, PA-CC15



A PA-CC5 apresentou maior valor de calor hidratação em relação às demais pastas, até 60 horas, onde ocorre a inversão de tendência com a PA-CC0. Ressalta-se que a PA-CC0 apresenta em sua composição cal hidratada, podendo apresentar também compostos não hidratados como óxido de cálcio e óxido de magnésio (cal virgem). Os mesmos, quando em contato com a água, ocasionam início do processo de hidratação, liberando calor, o que justifica a PA-CC0 apresentar liberação de calor nos primeiros minutos.

Destaca-se também que nos primeiros minutos ocorrem as reações químicas da sílica presente na CBC com os constituintes da cal por meio de reações exotérmicas, gerando assim a liberação de calor.

De modo geral, quando adicionada à CBC ocorre reação entre a sílica amorfa presente em sua composição com o hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, formando assim, o silicato de magnésio hidratado e silicato de cálcio hidratado (reação pozolânica de longa duração).

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que é possível utilizar-se da CBC, resíduo agroindustrial, como substituto parcial na fabricação de pastas a base de cal hidratada. Notou-se que o aumento do teor de substituição de cal por CBC, levou a uma maior relação a/agl para obtenção do mesmo nível de consistência das pastas. Devido a esta maior quantidade de água, houve redução no calor de hidratação das pastas com maior teor de substituição. A energia térmica na pasta sem adição de CBC foi maior, principalmente, por ter um menor fator a/agl.

Por meio da TG/DTG foi possível calcular a perda de massa dos hidróxidos e carbonatos. Observou-se nesses ensaios, que o aumento da CBC ocasionou diminuição dos hidróxidos e elevação dos carbonatos nas amostras.

Sendo assim, foi possível demonstrar o possível potencial que as amostras apresentam em relação ao aspecto ambiental, ao tratar da utilização de matérias primas de baixo consumo energético.

6. REFERÊNCIAS

BARBOSA, R. C. **Estudo do aproveitamento de resíduo de mineração rico em calcário para produção de cal e captura de dióxido de carbono.** Dissertação de Mestrado

apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – UFU – Uberlândia/MG. 2014. 93pg.

COLLATTO, D; VIECILI, F; ARNDT, J; JESUS, R. **Utilização da sílica da casca de arroz na produção de concreto usinado em central.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 53, 2011, Florianópolis. Anais... Florianópolis: IBRACON. 2011.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. M. R. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in portland cement and lime mortar. **Cement & Concrete Composites**, v. 30, n. 5, p. 410-418, 2008.

JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K. R. G.; CINCOTTO, M. A. **Produção de cal: relatório final.** Ribeirão Preto: EBC, 2014.

LIMA, S. A.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; SANTOS, T. J. Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. **Revista Tecnológica (UEM)**, v. 18, p. 87-97, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Ibracon, 2008.

OLIVEIRA, M.; NOBREGA, A.; CAMPO, M.; BARBOSA, N. **Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland.** Conferencia Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais: Habitação e infraestrutura de interesse social Brasil – NOCMAT 2004, Pirassununga. Anais... Pirassununga: USP, 2004.

PAULA, M. O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Potencial Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Como Material De Substituição Parcial De Cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 353-357, 2009.

SAVASTANO, JR., WARDEN, P. Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites. **Cement & Concrete Composites**, v.25, n.5, p.517-624, 2003.

SOUZA G. N.; FORMAGINI, S.; CUSTÓDIO, F. O.; SILVEIRA, M. M. **Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar.** In: 49º. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Bento Gonçalves. Anais..., São Paulo: IBRACON, 2007.

TONNAYOPAS, D. Green building bricks made with clays and sugar cane bagasse ash. **The 11th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering.** Novembro, 2013. Tailândia.

VANDERLEI, R.; PEINADO, H.; NAGANO, M.; DAL MOLIN FILHO, R. Cinza do Bagaço de cana-de-açúcar como agregado em concretos e argamassas. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil.** v.8, n. 1, 21-31. 2014.

ZHANG, Y.; SUN, W.; LIU, S. Study on the Hydration Heat of Binder Paste in High-Performance Concrete. **Cement And Concrete Research**, v.32, p. 1483-1488, 2012.