ANÁLISE DOS EFEITOS DA TEMPERATURA NO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA BOLONHA (BELÉM, PA)

J.V.R., SOARES [(1)]; W.S., MARTINS [(2)]; I.P., FREITAS [(3)]; W, WANZELER[(4)]

(1) Universidade Federal do Pará (UFPA) – Jovirsoares@gmail.com; (2) Universidade Federal do Pará (UFPA) - wallysonsmartins@gmail.com; (3) Universidade Federal do Pará (UFPA) - bellaparriao@hotmail.com; (4) Universidade Federal do Pará (UFPA) - waleriacwanzeler@gmail.com

RESUMO

A crescente preocupação com o destino de resíduos agressores ao meio ambiente provocou o aumento de estudos visando o destino correto destes resíduos. Entre esses, tem-se o lodo de estações de tratamento de água(LETA), o qual é despejado nos corpos d´águas, sem nenhum tratamento. Para aplicá-lo, é importante conhecer suas características e suas potencialidades. Portanto, este estudo objetiva avaliar os efeitos da calcinação em temperaturas de 600°C, 700°C e 800°C no LETA Bolonha, para conhecer suas características físico-químicas e mineralógicas. Portanto, fez-se necessário realizar os ensaios de difração de raios X, fluorescência de raios X, massa específica e granulometria a laser, nos lodos *in natura* e calcinados. A partir da fluorescência, percebeu-se que o LETA é composto principalmente pelos óxidos de silício(SiO_2), de alumínio (Al_2O_3) e de ferro(Fe_2O_3). Constatou-se, por meio da análise mineralógica, que no lodo *in natura* a caulinita é o mineral predominante mas, em temperaturas superiores a 500°C, há uma quebra da sua estrutura cristalina, formando a metacaulinita amorfa, mais reativa. Assim, através dos resultados das técnicas utilizadas, concluiu-se que as características das partículas são importantes para uma futura aplicação em materiais compósitos de matriz cimentícia ou geopolímeros, uma vez que são ricos em alumina e sílica.

Palavras-chave: Análise Térmica; Reaproveitamento de resíduo; Resíduo Caulinítico; Resíduo de ETA

ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECTS IN THE SLUDGE OF THE WATER TREATMENT STATION BOLONHA (BELÉM, PA)

ABSTRACT

The growing concern about the fate of environmental wastes has led to an increase in studies aiming at the correct destination of these wastes. Among these residues are the sludge from water treatment plants (LETA), which is dumped into bodies of water without any treatment. To apply it, it is important to know its characteristics and potentialities. Therefore, this study aims to evaluate the effects of calcination at temperatures of 600 °C, 700 °C and 800 °C in the LITA Bologna, to know its physical-chemical and mineralogical characteristics. Therefore, it was necessary to carry out X-ray diffraction, X-ray fluorescence, specific mass and laser granulometry tests in the in natura and calcined sludge. From the fluorescence, it was noticed that the LETA is composed mainly of the oxides of silicon (SiO_2), aluminum (Al_2O_3) and iron (Fe_2O_3). It has been verified, through mineralogical analysis, that in the mud in natura the kaolinite is the predominant mineral but, in temperatures higher than 500 °C, there is a breakdown of its crystalline structure forming the amorphous metacaulinite, more reactive. Thus, through the results of the techniques used, it was concluded that the characteristics of the particles are important for a future application in cementitious matrix composites or geopolymers since they are rich in alumina and silica.

Key-words: Thermal analysis; Reuse of waste; Caulinotic residue; ETA residue

1. INTRODUÇÃO

Com o exponencial crescimento populacional, cresce a demanda de recursos consumíveis, como a água. Uma vez que a água disponível em rios não está nas condições ideais de potabilidade para consumo, nasce a necessidade de estações de tratamento de água (ETA) para trata-la e torná-la própria para consumo. O tratamento da água em uma ETA comum envolve os processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Como subproduto do tratamento da água na ETA, o Lodo da estação de tratamento (LETA) é produzido diretamente pelos processos de coagulação, sedimentação e decantação, pois há lançamento de coagulantes na água a fim de desestabilizar as partículas coloidais formadas pela reação dos coagulantes com água e sólidos em suspenção (impurezas), com o objetivo de formar agregados gelatinosos e, assim, decantá-los. Esses agregados, sem tratamento, são descartado em cursos d´água que normalmente encontram rios.

Em uma estação de tratamento comum, cerca de 100.000 toneladas de LETA são produzidas por ano (AHMAD; AHMAD; ALAMET, 2016)[1] e, muito embora seja fácil, o descarte do lodo no meio ambiente não deve ser feito, por este ser tão abrasivo ao meio ambiente, uma vez que pode provocar a

contaminação dos cursos d´água com metais leves e pesados. Sendo assim, a preocupação em fornecer um fim sustentável ao lodo da estação de tratamento gera esforços contínuos da área acadêmica para encontrar formas de descarte apropriado ao lodo da estação de tratamento, haja vista que há possibilidade de ser uma matéria prima, com potencial econômico ainda inexplorado. O resíduo de estação de tratamento já vem sendo objeto de pesquisa na construção civil, sendo alvo de estudos para sua utilização prática. Porém, verificam-se problemas na aplicação do lodo enquanto material pois, segundo Sales, Souza e Almeida (SALES; SOUZA; ALMEIDA, 2010)(2) o uso do lodo na produção de concreto provocou um aumento na quantidade de água necessária para misturá-lo, diminuindo, portanto, sua resistência. Problemas esses que poderiam ser investigados a fim conhecer as características do lodo e aprimorar seu desempenho.

Por conta do baixo padrão da qualidade da água bruta captada, as ETAs sofrem algumas implicações internas com o aumento do consumo de produtos químicos, particularmente do sulfato de alumínio (SILVA, 2016)(3). A Estação de tratamento de água Bolonha, situada em Belém do Pará, utiliza sulfato de alumínio para decantar as impurezas da água, por isso, neste estudo, verificou-se que de forma geral, o lodo da ETA Bolonha é constituído fundamentalmente por óxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), e óxido de potássio (K_2O), além de outros metais pesados em pequenas quantidades que, se descartados irregularmente, podem causar danos significativos ao meio ambiente (Ahmad; Ahmad; Alam, 2015)(4). Portanto, o objetivo deste estudo é analisar os efeitos da calcinação à 600 °C, 700 °C e 800 °C, do lodo da estação de tratamento de água Bolonha, a fim de conhecer suas características físicas, químicas e mineralógicas para aplicar este conhecimento de forma eficaz na produção de materiais na construção civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Reaproveitamento do Lodo de ETA como material de construção civil

Nos últimos anos, surgiu uma tendência para o uso benéfico do lodo de ETA, o qual vem deixando de ser considerado um “resíduo” para ser considerado uma “matéria-prima”. Devido às características físico-químicas e mineralógica do LETA. Algumas linhas de pesquisa têm investigado o reaproveitamento do lodo como material de construção civil em diferentes aplicações: fabricação de tijolos e materiais cerâmicos, agregado leve, substituição a areia, geopolímero e substituição parcial

ao cimento Portland. A Tabela 1 apresenta alguns estudos desenvolvidos com diversas aplicações do LETA *in natura* e ativado pelo processo de calcinação no Brasil e no mundo.

Tabela 1 – Estudos desenvolvidos com LETA in natura e calcinado.

Autores	Local de Origem	Aplicação do LETA		Teores Utilizados
		In natura	Calcinado	
Tafarel *et al*. (2016)[5]	Paraná, Brasil	Agregado miúdo em concreto	–	5 e 10%
Gomes *et al*. (2016)[6]	Paraná, Brasil	Agregado miúdo em concreto	–	5; 7 e 10%
Benlalla et. al. (2015)[7]	Bouregreg, Marrocos	Cerâmica estrutural	–	5 a 30%
Texeira et. al.(2011)[8]	São Paulo, Brasil	Cerâmica vermelha	–	10 a 20%
Kizinievič *et al*. (2013)[9]	Vínius, Lituânia	Tijolos	–	5 a 40%
Huang e Wang (2013)[10]	Hsing-Zu, Taiwan	Agregado Leve	–	5 a 15%
Geraldo *et al*.(2017)[11]	São Paulo, Brasil	–	Geopolímeros	SiO_2/Al_2O_3 = 4,2 $Na_2O:SiO_2$ = 0,2
Ahmad *et al*. (2018)[12]	Ghaziabad, Índia	–	Cimento Portland	10, a 25%
Rocha *et al*. (2017)[13]	Porto Alegre, Brasil	–	Cimento Portland	0 a 10%
Gastaldine *et al*. (2015)[14]	Rio Grande do Sul, Brasil	–	Cimento Portland	5% a 30%
Frias *et al*. (2014)[15]	Caracas, Venezuela	–	Cimento Portland	15%
Batalha (2012)[16]	Manaus, Brasil	–	Cimento Portland	5 a 15%

2.1.1. Agregados Leves

Os agregados leves são produtos cerâmicos altamente porosos e esféricos com baixa densidade (0,8 a 2,0 g / cm^3) e comumente usados na fabricação de vários produtos de construção (Soltan *et al*., 2016)[17]. O possível uso do lodo de ETA para a produção de agregado leve foi estudado pelos pesquisadores Huang e Wang (Huang e Wang, 2013)[10]. Os experimentos nesse estudo envolveram lodos de 10 estações de tratamento de água de Taiwan. O lodo coletado na ETA de Hsing-Zu, apresentou os melhores resultados para a fabricação de agregado leve estrutural e não estrutural em

larga escala, usando um forno rotativo comercial. Os agregados resultantes do lodo desta ETA possuíam uma densidade de partícula de 1,3 g/cm^3 ou 0,98 g/cm^3 e uma densidade aparente de 726 kg/m^3 ou 518 kg/m^3 para o agregado leve estrutural e agregado leve não estrutural, respectivamente. O agregado leve estrutural atendeu aos requisitos da norma ASTM C330. Os autores concluíram que as propriedades de engenharia do concreto feitas a partir do agregado leve estrutural produzidos com lodo da ETA de Hsing-Zu atendem aos requisitos de concreto estrutural leve.

2.1.2. Fabricação de tijolos e materiais cerâmicos.

À exemplo Benlalla *et al*., (Benlalla *et al*., 2015)[7], avaliaram os efeitos da incorporação do LETA de Bouregreg, localizada em Marrocos, sobre as propriedades e microestrutura da argila utilizada como matéria-prima para a fabricação de cerâmica. O LETA foi adicionado a mistura substituindo a argila em diferentes proporções que variavam de 5 a 30%. As amostras destas misturas foram queimadas a temperatura de 800, 900 e 1000 ºC. As amostras testadas apresentaram alta resistência mecânica, sem deformação ou defeitos. No entanto os autores concluem que no total, a melhor proporção de LETA no tijolo é de 20%, com um teor ótimo de umidade de 30%, preparado nas misturas moldadas e queimadas entre 900 °C e 930 °C para produzir tijolos de boa qualidade.

2.1.3. Substituição à Areia

Tafarel *et al*., (Tafarel *et al*., 2016)[5] substituíram parcialmente a areia natural presente no concreto por um LETA à base de alumínio, em proporções de até 10% do peso seco da areia. Considerando os resultados, apenas as amostras com 5% de substituição de lodo apresentaram desempenho satisfatório de resistência à compressão de 15,5 MPa aos 28 dias, decréscimo na resistência próximo a 11% quando comparado ao concreto de referência. A incorporação de 5% e 10% de lodo levou a um aumento na absorção de água de 12% e 32%, respectivamente.

Em pesquisa semelhante, Gomes et al. (2017)[6] investigaram os efeitos do lodo à base de alumínio em sua forma natural (úmida), variando de 0, 5, 7 e 10% de substituição de areia em concreto. Os resultados mostraram que a adição de lodo úmido reduziu a resistência mecânica e aumentou a absorção de água, pois mesmo 5% da substituição do lodo levou a uma redução de 50% na resistência à compressão e 45% na absorção de água.

2.1.4. Geopolímero

Geraldo *et al*., (Geraldo *et al*., 2017)[11] investigaram a substituição parcial do metacaulim (MK) pelo lodo de ETA na composição da argamassa geopolimérica. Uma solução alternativa ativadora alcalina foi preparada com NaOH e cinza da casca de arroz (substituindo o silicato de sódio). Além disso, devido à quantidade de SiO_2 ser menor no lodo de ETA em comparação com o MK, uma quantidade extra de cinza de casca de arroz foi adicionada nas misturas para equilibrar e aumentar a relação SiO_2/ Al_2O_3. Os resultados mostraram que à medida que a proporção de lodo de ETA aumentou, o tempo de acerto aumentou simultaneamente. O tempo final de decantação das amostras variou de 3,22 a 5,32 h; que foram maiores em comparação com geopolímeros de cinzas volantes para a mesma temperatura. A resistência à compressão e a trabalhabilidade das amostras diminuíram conforme a adição de Lodo de ETA. As resistências mecânicas em todas as idades de cura foram superiores ao mínimo requerido para os diversos tipos de componentes de construção, de acordo com a norma brasileira (tijolo de argila-fogo > 1,5 MPa, tijolo de solo-cimento > 2,0 MPa, bloco de concreto> 3,0 MPa).

2.1.5. Substituição parcial do cimento Portland por cinzas do lodo de ETA

Batalha (Batalha, 2012)[16], estudou sobre a produção de argamassa de cimento Portland com a utilização da cinza do lodo da estação de tratamento de água da cidade de Manaus em substituição parcial ao cimento Portland. A cinza do lodo, obtida após os processos de secagem, moagem e calcinação na temperatura de 650 °C, foi usada como componente da mistura substituindo parcialmente o cimento em 5%, 10% e 15% em massa. Os resultados apresentados mostram que o uso da CLETA é viável técnicamente: as resistências à compressão das argamassas com teor de 5% e 15% de cinza substituindo o cimento apresentaram, aos 28 dias, resultados estatisticamente iguais em comparação à argamassa de referência. O ensaio de porosimetria mostrou que a cinza além de proporcionar redução no consumo de cimento na mistura, atuou no refinamento da estrutura de poros da argamassa com 5% de CLETA, reduzindo 15,64% os macroporos e aumentando em 4% os mesoporos em relação à argamassa de referência. No ensaio de absorção por capilaridade, as argamassas apresentaram taxas menores em relação à argamassa de referência, comprovando o efeito fíler da CLETA na matriz.

3. METODOLOGIA

3.1. Coleta do lodo da estação de tratamento de água (LETA) Bolonha.

O resíduo utilizado neste trabalho foi coletado no dia de limpeza dos decantadores da Estação de Tratamento de Água Bolonha, na cidade de Belém, estado do Pará. O procedimento de limpeza dos decantadores do lodo da ETA Bolonha é realizado a cada 30 dias.

O resíduo ficou exposto ao sol durante 72 h em processo de secagem e decantação em um recipiente plástico para facilitar a retirada do excesso de água. Em seguida, o resíduo foi submetido a um processo de secagem em estufa de laboratório a 105 ºC por 24 h e destorroado, constituindo-se na amostra de trabalho, a qual foi denominada de resíduo (lodo) de ETA. A Figura 1 mostra o lodo no recipiente de plástico para decantação.

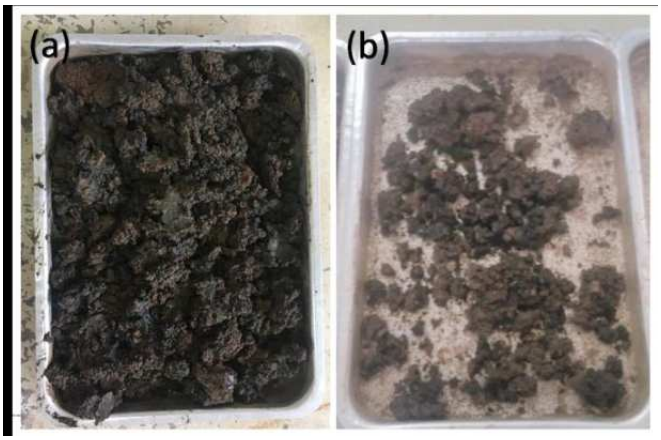
Figura 1 – LETA Bolonha exposto ao sol



3.2. Tratamento térmico do lodo da estação de tratamento (LETA) Bolonha

O lodo da estação de tratamento (LETA) coletado foi exposto ao sol para secagem inicial, processo que não garantiu a obtenção da sua constância de massa (lodo seco). Por conta do alto teor de umidade ainda presente, o material parcialmente seco foi colocado em bandejas de alumínio para a secagem em uma estufa ventilada, em uma temperatura de 105±5 ºC. A figura 2 compara o lodo antes da secagem na estufa ventilada e após a secagem na estufa ventilada.

Figura 2 – (a) Lodo da ETA bruto; (b) Lodo da ETA após a secagem à 105 ºC em estufa



Após a sua secagem em estufa, as amostras do lodo da ETA foram submetidas ao processo de calcinação em temperaturas de 600 ºC, 700 ºC e 800 ºC em um forno mufla com 220V de voltagem e 3720 W de potência, no laboratório de engenharia mecânica na Universidade Federal do Pará (UFPA). O procedimento ocorreu a uma taxa de aquecimento do forno de 10 ºC/min, com duração de 2 horas para cada temperatura de calcinação (600 ºC, 700 ºC e 800 ºC). A fim de evitar contaminação, utilizou-se dois cadinhos cerâmicos como recipientes do material, para que este fosse colocado no interior do forno mufla para calcinação. Após o desligamento do forno, a amostra ficou no forno mufla por 24h para resfriamento gradual e só então o material foi retirado do forno. Após o processo de calcinação do material, desagregou-se as amostras até que as mesmas fossem passantes na peneira de abertura igual a 75µm. A Figura 3 mostra o lodo *in natura* (seco a 105 ºC) e as cinzas do lodo da estação de tratamento de água (CLETA) obtidas após os procedimentos de calcinação nas temperaturas de 600 ºC, 700 ºC e 800 ºC, respectivamente.

Figura 3 – Aspecto físico do LETA Bolonha in natura e ativado termicamente a 600 ºC (CLETA600), 700 ºC (CLETA700) e 800 °C (CLETA800).



3.3. Caracterização do Lodo da Estação de Tratamento (LETA) Bolonha.

A determinação da massa específica do material foi feita de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001)[18], que estabelece o método para a determinação da massa específica do cimento Portland e outros materiais em pó, utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier. A caracterização granulométrica do material foi feita por difração à laser, utilizando um analisador de partículas a laser modelo Analysette 22 Micro Tec Plus da marca Fritsch GmbH, com intervalo de medida de 0,08 a 2000 µm, para gerar as curvas granulométricas das cinzas. Essa análise foi realizada no Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações (LAMIGA) do Instituto de Geociências da UFPA

A determinação dos teores dos componentes químicos do LETA *in natura* (seco em estufa a 105 ± 5 °C) foi feita a partir da análise da espectrometria de fluorescência de raio-x, especificada pela NBR 16137 (ABNT, 2016)[19]. A composição química do lodo foi determinada em espectrômetro de fluorescência de raios-X modelo Axios Max, da marca PANalytical, o software utilizado para a interpretação dos dados foi a versão de modelo SuperQ5I, O procedimento de preparação da amostra foi o de pastilha prensada, amostra e cera orgânica, ensaio de perda ao fogo a 1000 ºC e varredura química.

A caracterização mineralógica foi obtida através do ensaio de Difração de Raios X (DRX), pelo método do pó, realizado no Laboratório de Física da UFPA identificando as fases, amorfa ou cristalina, dos minerais que constituem as cinzas do LETA, indicando, caso haja predominância da forma cristalina, baixa atividade e caso apresente-se amorfo, maior potencial pozolânico.

Por fim, a análise termogravimétrica do lodo foi realizada no laboratório PCT Guamá da UFPA no equipamento Mettler Star SW 9.30 em cadinho aberto de platina com taxa de aquecimento do forno igual a 10 ºC/ min, dentro do intervalo de temperatura de 40 ºC e 1000 ºC.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

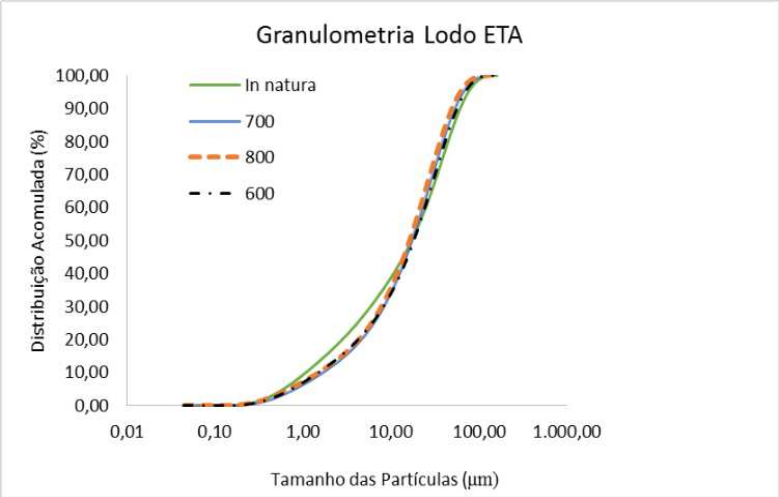
4.1. Caracterização das amostras do lodo da ETA Bolonha *in natura* e calcinados

4.1.1. Granulometria

A partir da figura 4, percebe-se que com um aumento da temperatura de calcinação, há um aumento do tamanho das partículas, pois a temperatura pode provocar a agregação das partículas, aumentando a granulometria das mesmas (DIETEL *et al*., 2017)[20]. Além disso, as amostras apresentaram uma curva granulométrica contínua, indicando que o material pode ser usado como fíler, preenchendo espaços vazios dentro concreto. Porém, segundo Perini *et al*.,(Perini *et al*, 2016)[21], o aumento da substituição do lodo no cimento faz com que o concreto obtenha uma elevada consistência, prejudicando o adensamento dos corpos- de-prova, além de aumentar a quantidade de água necessária para a hidratação do concreto, diminuindo, portanto, sua resistência. Segundo o critério de finura para material pozolânico da NBR 12653 (2014)[22], um material deve possuir 80% de sua granulometria inferior a 45 µm para ser considerado um material pozolânico. Assim, todas as amostras do LETA calcinado se enquadram no critério da norma citada.

.

Figura 4 - Curvas granulométricas do lodo da ETA Bolonha in natura e das Cinzas calcinadas a 600 ºC., 700 ºC. e 800 ºC



4.1.2. Massa Específica

Os resultados das massas específicas do LETA *in natura* e das cinzas calcinadas a 600 ºC, 700 ºC e 800 ºC foram determinados por meio da média aritmética de dois ensaios consecutivos. Os resultados dos ensaios estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 – Massa específica do LETA in natura e das amostras LETA ativadas termicamente.

Amostras	Medida	m (g)	V_1 (cm³)	V_2 (cm³)	ρ (g/cm³)	$\rho_{médio}$ (g/cm³)
In natura	1°	38,58	18,6	0,4	2,119	2,120
	2°	38,6	18,4	0,3	2,12	

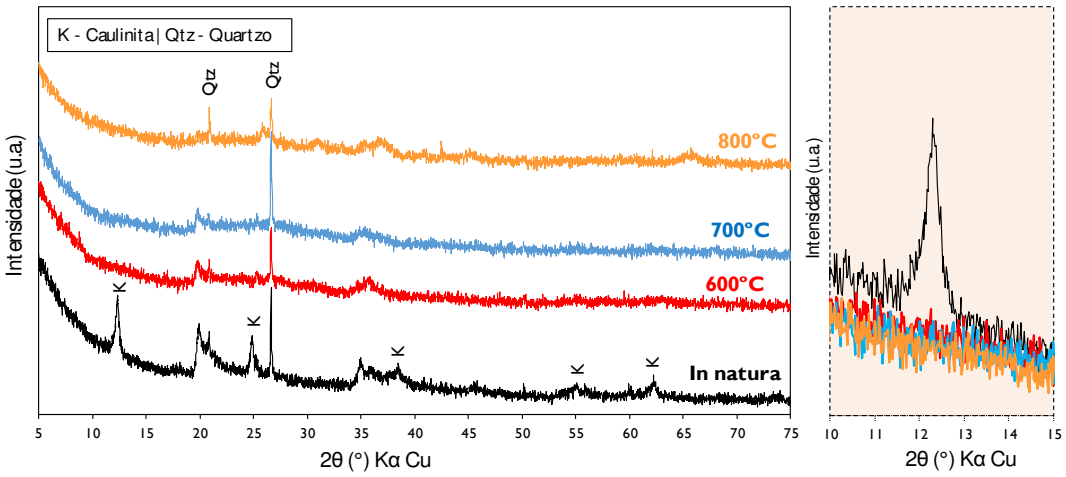
CLETA600	1°	48,38	18,1	0,2	2,7	2,703
	2°	48,42	18,2	0,3	2,705	
CLETA700	1°	48,31	18	0,7	2,792	2,790
	2°	48,5	18,2	0,8	2,787	
CLETA800	1°	49,41	18	0,6	2,840	2,842
	2°	49,5	18,1	0,7	2,845	

De acordo com a tabela 2, verificou-se que conforme a temperatura de calcinação das amostras LETA aumentou, suas massas específicas também aumentaram. Isto sugere uma estrutura mais densa e estável de acordo com o aumento da temperatura de calcinação, comportamento semelhante percebido por Silva (2018)[23] para as cinzas de lama vermelha. Isso pode ser explicado pelo aumento da granulometria do material conforme fosse calcinado, pois a temperatura pode provocar agregação no material (DIETEL *et al*., 2017)[20], aumentando assim sua quantidade de massa por volume.

4.1.3. Difração de raios-x

Observando os resultados do DRX é possível perceber que o LETA *in natura* apresenta picos de difração característicos das fases cristalinas correspondentes à caulinita ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) e ao quartzo (SiO_2). Além disso, é possível perceber que na temperatura de 600 ºC há a manutenção dos picos característicos do quartzo e, principalmente, há a quebra dos picos relacionados à caulinita, que é transformado em metacaulinita em estado amorfo, por conta da temperatura. Entre 600 ºC e 800 ºC, não houve mudanças significativas no que diz respeito à mineralogia do material, ou seja, permaneceram os mesmos minerais encontrados à 600 ºC. Os resultados encontrados são semelhantes a outros estudos, como o de Hagemann et. al (2019)[24] e Frias et. al (2013)[25], os quais perceberam que, ao calcinar e caracterizar amostras de um LETA da Venezuela, a caulinita transformou-se em metacaulinita após ativação térmica à 600 ºC, produto bastante pozolânico.

Figura 5 – Difratogramas do LETA in natura e das amostras do LETA ativadas termicamente a 600 °C, 700 °C e 800 °C.



4.1.4. Caracterização química.

A composição química do LETA *in natura*, obtida a partir do espectrômetro de fluorescência de raios-X, é mostrada na tabela 3 e discutida a seguir.

Tabela 3 - Análise química por Fluorescência de Raio-X (FRX)

Resíduo do lodo	
Composição Química	**% massa**
SiO_2	27,9
Al_2O_3	24,7
Fe_2O_3	13,5
K_2O	0,9
MgO	0,6
CaO	0,3
Perda ao fogo (P.F.)	29,90

As concentrações dos óxidos SiO_2 (27,9%), Al_2O_3 (24,7%) e Fe_2O_3 (13,5%) na matriz são esperadas, uma vez que este tipo de concentrações são comuns em ETAs usuárias de sais de alumínio (Ahmad; Ahmad; Alam, 2015)[4] como coagulante utilizado no processo de tratamento, que reflete diretamente na composição majoritária de alumínio. A sílica presente é um composto que melhora as respostas mecânicas das pastas após o endurecimento, devido à nucleação heterogênea acelerada, ao melhor empacotamento das misturas e à maior reatividade das partículas por serem finas (FLORES *et al.*, 2017)[26]. Assim como a sílica, a alumina também aumenta a resistência a compressão de pastas de cimento Portland devido sua capacidade de refinar os poros da mistura, além disso, acelera a hidratação e diminui a trabalhabilidade (GOWDA *et al.*, 2017)[27]. Além disso, a alumina também

melhora as propriedades refratárias em concretos, tem alto ponto de fusão e possui boas propriedades mecânicas, se tornando adequada para aplicações em altas temperaturas (KUMAR *et al*., 2014)[28]. O óxido alcalino K_2O e os alcalinos-terrosos CaO e MgO, que apesar de apresentarem baixos valores percentuais, atuam, junto com o óxido de ferro como material fundente (DANTAS, 2008)[29] e irão ter grande influência durante a queima, favorecendo a sinterização e a densificação (SILVA, 2005)[30]. O alto teor de Al_2O_3 tende a aumentar a propriedade refratária do material, ou seja, ele se torna mais resistente a altas temperaturas (PINHEIRO; HOLANDA, 2010)[31].

Verificou-se perda ao fogo do lodo da ordem de 29,90% para a amostra. Esta perda ao fogo se deve, potencialmente, à presença de águas intersticiais, hidroxilas dos argilominerais e dos hidróxidos existentes. Também, podem ter sido originados a partir da volatização de componentes da matéria orgânica.

5. CONCLUSÃO

Conforme o aumento da temperatura de calcinação do lodo da estação de tratamento de água (LETA) Bolonha, percebeu-se o aumento do tamanho das partículas do material e também de sua massa específica, pois houve a sintetização do material. Percebeu-se também que a ativação térmica do LETA Bolonha altera sua microestrutura, uma vez que este *in natura* é cristalino e pouco reativo, com picos de caulinita e quando termicamente ativado à 600 ºC, há a quebra dessa estrutura, transformando os picos de caulinita em metacaulinita amorfa, material altamente pozolânico e reativo; além disso, a composição mineralógica não mudou após a transformação do caulim em metacaulinita. A análise química mostrou que a amostra de lodo possui significativos teores de sílica e alumina.

A partir da análise obtida através do tratamento térmico do lodo da estação de tratamento de água Bolonha, percebemos que o material possui aplicações para a sua reutilização, pois o tratamento térmico provoca melhoras nas propriedades do material. O LETA possui potencial utilização na construção civil, principalmente na produção de materiais com matriz cimentícia e geopolímeros, por este material apresentar teores significativos de alumina e sílica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. **Sustainable management of water treatment sludge through 3 "R"'concept. Jounal of Cleaner Production**, v. 124, p. 1-13, 2016.

2. SALES, A.; SOUZA, F. R.; ALMEIDA, F. C. R. **Mechanical properties of concrete produced with a composite of water treatment sludge and sawdust. Construction and Building Materials**, v.25, n.6, p. 2793-2798, 2011

3. SILVA, T. H. P.; RODRIGES, H. A. C; MOREIRA, M. L. T. **Influência da substituição parcial do cimento por CLE na resistência a compressão do concreto**. In: Congresso Técnico e Científico da Engenharia e da Agronomia. Anais. Foz do Iguaçu, 2016

4. AHMAD, T.; AHMAD, K.;ALAM, M. **Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options**, Procedia Environmental Sciences ,Volume 35, P. 950-955, 2016.

5. TAFAREL, N. F.; MACIOSKI, G.; CARVALHO, K. Q.; NAGALLI, A.; DE FREITAS, D. C.; PASSIG, F. H. **Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água.** Revista Matéria, v.21, n. 04, p. 974-986, 2016

6. GOMES, R. K.; POSSAN, E.; DEZEN, B.; SANTOS, G.; COLOMBO, M. **Potential uses of waste sludge in concrete production.** International Journal Management of Environmental Quality, v. 28, n.6, p. 821-838, 2017.

7. BENLALLA, A. *et al*. **Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. Applied Clay Science**, v. 118, p. 171-177, 2015.

8. TEIXEIRA, S.R.; SANTOS, G.T.A.; SOUZA, A.E.; ALESSIO, P.; SOUZA, S.A.; SOUZA, N.R. **The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials.Applied Clay Scienc**, v. 53, p. 561-565, 2011

9. KIZINIEVIČ, Olga *et al*. **Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products.** Construction and Building Materials, v. 41, p. 464-473, 2013

10. HUANG, C. H; WANG, S.Y. **Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate.** Construction and Building Materials, v.43, p. 174-183, 2013.

11. GERALDO, R.H.; FERNANDES, L. F. R.; CAMARINI, G. **Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymer production.** Jounal of Cleaner Procution, V. 149, p. 146-155, 2017.

12. AHMAD, T.;AHMAD, K.; ALAM, M. **Investigating calcined filter backwash solids as supplementary cementitious material for recycling in construction practices.** Construction and Building Materials, v.175, p. 664–671, 2018.

13. ROCHA, G.H; WENZEL, M. C; BUSELATTO, D. M; SCHEMMER, L. B; REISS, J. O.; PAVOUX,8R. B.; SANTOS, J. W.; SILVA, S. R.; ANDRADE, J. J. O. **Concretos de cimento Portland com substituição de lodo de estação de tratamento de água (ETA): análise da potencialidade de emprego na construção civil.** In: 59° Congresso Brasileiro do Concreto, 2017, Bento Gonçalves. Anais do 59° congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: 2017

14. GASTALDINI. A. LG.; HENGEN, M. F.; GASTALDINI, M. CC.; DO AMARAL, F. D.; ANTOLINI, M. B.; COLETTO, T. **The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition.** Construction and Building Materials, v.94, p. 513-520, 2015.

15. FRÍAS, M.; VIGIL DE LA VILLA, R.; DE SOTO, I.; GRACÍA, R.; BALOA, T. A. **Influence of activated drinking-water treatment waste on binary cement-based composite behavior:** Characterization and properties. Composites: Part B, v.60, p. 14-20, 2014

16. BATALHA, C. T. **Avaliação das propriedades da argamassa com substituição parcial do cimento Portland por cinza do lodo da estação de tratamento de água da cidade de Belém.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Amazônia. Manaus, 2012

17. SOLTAN, A. M. M.; KAHL, W. A.; EL-RAOOF, F.ABD.; ABDEL-HAMID EL-KALIOUBY, B.; ABDEL-KADER SERRY, M.; ABDEL-KADER, NA. **Lightweight aggregates from mixtures of granite wastes with clay.** Jounal of Cleaner Procution, v. 117, p. 139-149, 2016.

18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica: **NBR NM 23.** Rio de Janeiro, 2001.

19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaios não destrutivos - Identificação de materiais por teste por pontos, espectrometria por fluorescência de raios X e espectrometria por emissão óptica: **NBR 16137** , Rio de Janeiro, 2016

20. DIETEL, J.; WARR, L. N.; BERTMER, M.; STEUDEL, A.; GRATHOFF, G. H.; EMMERICH, K. **The importance of specific surface area in the geopolymerization of heated illitic clay.** Applied Clay Science, v. 139, p. 99-107, 2017.

21. PERINI, L.R.; DIAS, L.C.; RECKZIEGEL, T.; SOKOLOVICZ, B.C**. Estudo de aproveitamento do lodo da ETA de Santa Rosa.** 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves,RS, Brasil, 2016

22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais Pozolânicos – Requesitos: **NBR 12653**. Rio de Janeiro, 2015.

23. SILVA, T. H. P.; RODRIGES, H. A. C; MOREIRA, M. L. T. **Influência da substituição parcial do cimento por CLE na resistência a compressão do concreto.** In: Congresso Técnico e Científico da Engenharia e da Agronomia. Anais. Foz do Iguaçu, 2016

24. HAGEMANN, S.E. **Synergic effects of the substitution of Portland cement for water treatment plant sludge ash and ground limestone: Technical and economic evaluation.** Journal of Cleaner Production, v.214, p. 916-926, 2019

25. FRIAS, M; VILLA, R. V; GARCIA, R; ROJAS, M. I. S; BALOA, T. A. **Mineralogical Evolution of Kaolin-Based Drinking Water Treatment Waste for use as Pozzolanic Material. The Effect of Activation Temperature.** Journal American Ceramic Society, v. 96, p. 3188-3195, 2013.

26. FLORES, Y.C.; CORDEIRO, G.C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L.M. **Performance of Portland cement pastes containing nano-silica and diferente types of sílica.** Construction and Building Materials, v. 146, p. 524-530, 2017

27. GOWDA, R.; NARENDRA, H.; RANGAPPA, D.; PRABHAKAR, R. **Effect of nano-alumina on workability, compressive strenght and residual strenght at elevated temperature of Cement Mortar.** Materials today: Proceedings, v. 4, p. 12152-12156, 2017.

28. KUMAR, P. H.; SRIVASTAVA, A.; KUMAR, V.; SINGH, V. K. **Implementation of industrial waste ferrochrome slag in conventional and low cement castables: Effect of calcined alumina.** Journal of Asian Ceramic Societies, v. 2, p. 371-379, 2014.

29. DANTAS, A. P. A. **Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca.** 2008, 94p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – UFRN, Natal.

30. SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M.; ACCHAR, W. **Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas.** Cerâmica, v. 51, p. 325-330, 2005.

31. PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. **Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânica de cerâmica vermelha.** Cerâmica, v. 56, p. 237-243, 2010.