

## Use of water treatment sludge in ceramic matrix for manufacturing bricks

Sebastião Batista Ramos Júnior<sup>1</sup> e Italo Jorge Tavares Jimenez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario do Norte – UNINORTE - *Laureate Universites*, Brasil, Rua Igarapé de Manaus, 211 – Centro, Manaus/AM

<sup>2</sup>Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), Av Joaquim Nabuco, 1950 – Centro, Manaus/AM.

Email: [sb-ramos.eng.ambiental@hotmail.com](mailto:sb-ramos.eng.ambiental@hotmail.com), [italo.jimenez@itegam.org.br](mailto:italo.jimenez@itegam.org.br)

### ABSTRACT

**Received:** July 29<sup>th</sup>, 2018.

**Accepted:** August 01<sup>th</sup>, 2018.

**Published:** September 30<sup>th</sup>, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The water treatment plants (WTP) generate sludge in its process. The final destination of this waste has generated serious environmental and economic problems. Among the alternatives of disposal, one has the use in ceramic masses for making bricks. The objective of this work was to propose an alternative of final destination to the sludge coming from a conventional water treatment plant, incorporating it into clay for the manufacture of ceramic bricks. To characterize the raw materials: residue and clay, X-ray diffraction and fluorescence analyzes were carried out in order to determine the mineralogy and to identify the chemical elements present in the material, respectively. The manufacture of test pieces with ceramic mass formulation contained 0%, 5%, 7% and 10% of embedded residue. After burning, the parameters of linear retraction, water absorption, apparent porosity, apparent specific mass and flexural stress were evaluated. From the results it was possible to conclude that the WTP residue can be incorporated in the ceramic bricks, in a percentage of 10%, without affecting the quality of the final product, based on the Brazilian standard of NBR 15.270-1/05.

**Keywords:** Water treatment, WTP sludge, ceramic bricks.

## Uso de lodo de estação de tratamento de água em matriz cerâmica para fabricação de tijolos

### RESUMO

As estações de tratamento de água geram em seu processo o lodo de ETA. O destino final desse resíduo tem gerado sérios problemas ambientais e econômicos. Entre as alternativas de descarte, tem-se a utilização em massas cerâmicas para confecção de tijolos. O objeto desse trabalho foi propor uma alternativa de destinação final ao lodo proveniente de estação de tratamento de água convencional, incorporando-o em argila para fabricação de tijolos cerâmicos. Para caracterização das matérias primas: lodo e argila realizaram-se análises por difração e fluorescência de Raios-X a fim de se determinar a mineralogia e identificar os elementos químicos presentes no material, respectivamente. A fabricação dos corpos de prova com formulação de massa cerâmica continha 0%, 5%, 7% e 10% de lodo incorporado. E após queima foram avaliados os parâmetros de retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão. A partir dos resultados foi possível concluir que o lodo de ETA pode ser incorporado na fabricação de tijolos cerâmicos, em percentual de 10%, sem afetar a qualidade do produto final, com base na norma NBR 15.270-1/05.

**Palavras-chave:** Tratamento de água, lodo de ETA, tijolos cerâmicos.

### I INTRODUÇÃO

Com intuito de uma produção mais limpa e competitividade comercial, as empresas tem cada vez mais se preocupado com a redução e destinação correta dos resíduos

gerados em seus processos produtivos, e ciclo de vida útil dos produtos. Esta preocupação visa diminuir ao mínimo possível, os custos com tratamento de resíduos sólidos e os impactos negativos ao meio ambiente.

Entre os resíduos de alto impacto ao meio ambiente, destaca-se o lodo proveniente da estação de tratamento de água, o lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA). Este resíduo considerado **Resíduo Classe I – Perigosos**: onde estes em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, pode apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento de mortalidade ou incidência de doenças ou apresentar efeitos adversos de alto impactos ao meio ambiente, quando manuseados ou disposto de forma inadequada [1].

O lodo de ETA é considerado como um resíduo normalmente composto de água e sólidos suspensos contidos na própria água, acrescidos dos produtos químicos aplicados durante o processo de seu tratamento [2].

Complementam essa constituição com resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areias, argila, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês, etc. [3]. Outros metais pesados podem fazer parte dos sedimentos em águas fluviais devido a poluentes arrastados pelo deflúvio superficial urbano ou mesmo por despejos de efluentes industriais nos mananciais que alimentam as estações de tratamento [4].

Para transformar a água bruta em potável por tratamento convencional, as ETAs utilizam processos como coagulação, floculação, decantação e filtração dos resíduos, os quais são, normalmente, constituídos de partículas coloidais de natureza química, física e/ou biológica que compõem o lodo [5].

A quantidade de lodo é dependente da qualidade físico-química das águas bruta e tratada e dos coagulantes e produtos utilizados no processo de sua potabilização [6]. Desta forma, o volume gerado passa a ser diretamente proporcional à dosagem de coagulante utilizado no processo, o qual varia entre 0,2 e 5% do volume total de água tratada pela ETA [3].

Há muito tempo o destino do resíduo de ETAs vem sendo os cursos d'água próximo às estações [7]. No entanto, as atuais legislações estão restringindo e, até mesmo, proibindo esta prática. Autores [8, 9] sugerem, que estes resíduos sólidos devem ser minimizados, reutilizados e/ou reciclados, ficando proibido seu lançamento em corpos d'água.

Dessa forma, para superar esses graves problemas ambientais são necessários o desenvolvimento de novos materiais e a busca de novas soluções construtivas, visando, utilização de materiais de alto desempenho e maior durabilidade, garantindo uma boa relação entre baixo custo, qualidade e segurança estrutural, com adoção de sistemas construtivos recicláveis ou reutilizáveis de baixa agressividade ao meio ambiente.

Com intuito de solucionar o problema de destinação dos resíduos de ETA, o objeto desse trabalho que, portanto o justifica, é a realização de um estudo que possibilite identificar a viabilidade da utilização do lodo de ETA na indústria cerâmica, que nos últimos anos esta tem se mostrado uma alternativa de incorporação no processo produtivo de fabricação de tijolos.

## II PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

### II.1 AMOSTRAGEM

Para o presente estudo, foram coletadas duas matérias-primas, provenientes de distintas áreas de estudos.

A argila foi cedida pela empresa Cerâmica Montemar Ltda., situada no Km 30 da rodovia Manuel Urbano, no município de Iranduba no Estado do Amazonas. Os métodos de coletas foram através de sistema mecânico com utilização de retroescavadeira e caçamba.

Da estação de tratamento de água do Programa Mais Água para Manaus – PROAMA situada no bairro Armando Mendes, zona leste da cidade de Manaus, foi coletado amostras de lodo de ETA, cedido pela gerência da estação. Este resíduo é proveniente do processo de decantação de tratamento de água para abastecimento. O material é separado através de uma adutora que transporta o lodo até uma centrífuga para diminuição da umidade proporcionando uma característica mais sólida. Após coleta o lodo e argila foram embalados em sacos de fibras de juta revestidos em polietileno e em toneis de papelão vedado com braçadeira de aço, respectivamente. Ambos encaminhados ao laboratório, para realização das análises e incorporação à argila para formulação da massa cerâmica.

As matérias-primas foram submetidas a diferentes procedimentos laboratoriais, conforme (Figura 1).

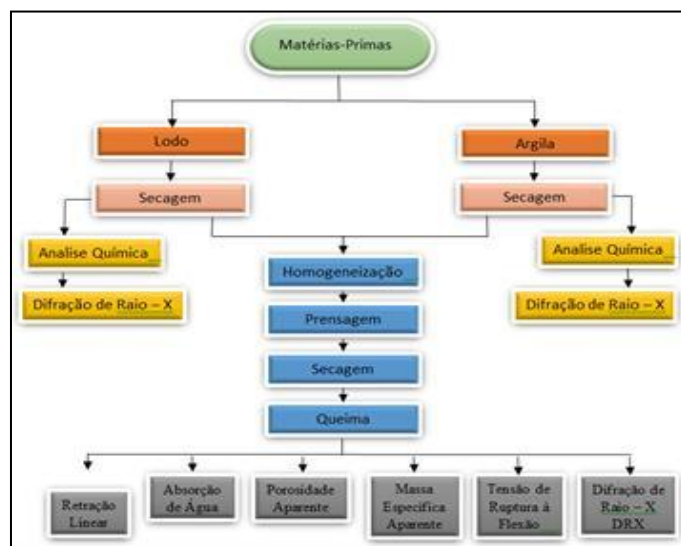


Figura 1: Fluxograma de processos, procedimentos e análises físico-químicas das matérias-primas.

Fonte: Autores, (2018).

### II.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após coleta a primeira etapa foi a preparação das amostras de argila e lodo de ETA. Estes materiais foram submetidos ao processo de secagem a 110°C por 24 horas, em estufa para secagem e esterilização, modelo MA033 da marca MARCONI, serie FO7170, a fim de se remover a umidade presente nas matérias-primas. Posteriormente as amostras foram trituradas por um período de 2:00h (duas horas) em moinho de bolas para ensaio com vaso *chiarioiti* de 10 (litros) da marca QUIMIS, transformando os torrões em partículas de menor granulometria. Após moagem, as matérias primas argila e lodo foram peneirados em peneiras 115 *mesh* dentro da peneira e 115 *mesh* no fundo da peneira. As matérias primas peneiradas foram utilizadas para formulação da massa cerâmica e posteriormente produção dos corpos de prova.

### II.3 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

As amostras de lodo e argila foram conformadas em pastilhas de ácido bórico, prensadas em prensa pneumática de marca Rigaku, modelo PCA 30. Após conformação foram colocadas em Espectrômetro para fluorescência de Raio – X, da marca RIGAKU, Modelo Supemini. Essa é uma técnica analítica multielementar e não destrutiva usada para obter informações qualitativa e quantitativa da composição elementar das amostras.

## II.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS – X

Para a análise da estrutura e identificação da composição mineralógica da argila e lodo, foi utilizado um aparelho de difração de Raios – X, da marca LAB-X SHIMADZU, modelo XRD - 6000 com tubo de Raios – X cerâmico e anodo de cobre. As condições instrumentais utilizadas foram: 5° a 7° em 2 $\theta$ ; voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA; tamanho do passo: 0,017° em 2 $\theta$  e 10,34s o tempo/passos; fenda divergente 1/4° e anti-espalhamento de 1/2 °; máscara de 10mm; amostra em movimentação circular com frequência de 1 rotação/s. O software usado para o processamento de dados foi o OriginPro 8.

## III PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram confeccionados corpos de prova com diferentes proporções de lodo na argila, sendo 0%, 5%, 7% e 10%. Conforme o fluxograma apresentado na (Figura 1), a preparação dos corpos de prova, obedeceu cronologicamente as seguintes etapas: Homogeneização, prensagem, secagem e queima.

### III.1 FORMULAÇÃO E HOMOGENEIZAÇÃO

Para a formulação e homogeneização da massa cerâmica, foi utilizada uma balança analítica de marca Adventurer OHUS, modelo ERC Classe II, calibrada de acordo com a portaria do Imetro/Dimel nº 002/2004.

Nessa etapa, pesou-se a matéria prima variando a concentração de lodo em 0%, 5%, 7%, e 10%, com uma umidade de 10% para obter uma melhor uniformidade na conformação dos corpos de prova (Tabela 1). Essa umidade foi obtida através da adição de água na matéria-prima seca, que se faz necessária durante o processo de formulação da massa cerâmica.

Tabela 1: Formulação e homogeneização da massa cerâmica

Corpo de prova	Massa cerâmica	% em peso de matéria-prima			
		Argila	Lodo	Umidade	Total
1	0%	90	0	10	100
2	5%	85	5	10	100
3	7%	83	7	10	100
4	10%	80	10	10	100

Fonte: Autores, (2018).

Cada mistura submeteu-se a um processo de homogeneização por 30 minutos em moinho de bolas. Após a mistura a massa cerâmica foi pesada através de uma balança analítica com capacidade máxima de 310g e mínima de 0,001g, da marca *Adventurer* OHUS, modelo AR 3130 Classe II, calibrada de acordo com a portaria do Imetro/Dimel nº 002/2004. A quantidade de matéria prima para cada corpo de prova obtido foi de 30g.

### III.2 PRENSAGEM

Etapa básica do processamento dos materiais a partir do pó, na qual obtém a forma estrutural da peça, como também as primeiras propriedades do produto [10]. Nessa foi utilizado um molde de aço sob a formato retangular, com dimensões de 70,54 x 30,37 x 8,20 mm, onde foi conformado as peças para realização dos ensaios. Para o processo de prensagem os corpos de prova foram colocados no molde e levados a uma prensa hidráulica marca MARCONI, com capacidade máxima de até 20 toneladas, onde foi utilizado uma pressão de 25Mpa, conforme, que mostra as etapas do processo de prensagem e remoção da peça.

Foram confeccionados 24 (vinte e quatro) corpos de prova, sendo 6 (seis) para cada ensaio, onde 5 (cinco) são para as análises e 1 (um), mantido como corpo de segurança.

Após a prensagem foi realizado o dimensionamento dos corpos de prova verde, determinados através de medições com paquímetro 0-150mm profissional de aço inoxidável da marca: Digital Caliper Western, onde por meio deste foi medido comprimento, largura e espessura respectivamente. As dimensões foram da ordem de 70,53 x 30,35 x 8,20 mm, com um peso médio de 29,32g, obtidos através de balança analítica com capacidade máxima de 310g e mínima de 0,001g, da marca *Adventurer* OHUS, modelo AR 3130 Classe II, calibrada de acordo com a portaria do Imetro/Dimel nº 002/2004, onde foi desprezado a força da gravidade para que fosse determinado a densidade verde do material prensado.

As medições e pesagem são fundamentais para obtenção de massa e volume, variáveis que serão utilizadas para determinar a densidade que foi determinada por meio da fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde:

D = Densidade

m = Massa

V = Volume

Deste cálculo, foi encontrado o valor da densidade de cada uma das formulações em diferentes proporções de argila, lodo e umidade respectivamente, evidenciados na (Tabela 2). Estes valores têm como objetivo prever hipoteticamente os possíveis resultados que serão obtidos nos ensaios físicos e mecânicos.

Tabela 2: Valores de densidade verde dos corpos de prova.

Corpo de prova	Massa cerâmica	% em peso de matéria-prima			Densidade verde (g/mm <sup>3</sup> )
		Argila	Lodo	Umidade	
1	0%	90	0	10	0,00164
2	5%	85	5	10	0,00164
3	7%	83	7	10	0,00165
4	10%	80	10	10	0,00166

Fonte: Autores, (2018).

### III.3 SECAGEM DOS CORPOS DE PROVA

A secagem tem por objetivo remover a água na superfície dos corpos de prova por evaporação e por difusão na parte interna, antes de submetê-los ao processo de sinterização. Nessa etapa, devido à remoção da água, podem ocorrer pequenas contrações de volume, desejáveis para permitir uma aproximação das partículas constituintes, evitando com, isso a ocorrência de defeitos nas amostras durante a queima. Dessa forma tomou-se cuidado em controlar a temperatura de secagem, pois um efeito negativo dessas contrações pode ocorrer quando a taxa de evaporação for maior que a taxa de difusão, a superfície irá secar contraindo seu volume mais rapidamente que o interior, ocasionando deformações nas amostras.

Para esse caso os corpos de prova moldados foram colocados em estufa da marca modelo MA033 da marca MARCONI, serie FO7170, com temperatura a 110°C por 24h. Após a secagem foi realizado o dimensionamento dos corpos de prova seco, determinados através de medições com paquímetro 0-150mm profissional de aço inoxidável, da marca digital *caliper* Western, onde foi medido comprimento, largura e espessura respectivamente (Tabela 3). Este procedimento visa verificar o comportamento dos minerais expostos a temperatura, qual a possibilidade de expansão ou retração.

Tabela 3: Medidas dos corpos de prova após secagem em estufa à 110°C.

Corpo de prova	Massa cerâmica	Dimensões após secagem (mm)			Peso (g)
		Comp.	Largura	Espessura	
1	0%	70,81	30,52	8,18	27,33
2	5%	70,82	30,52	8,18	27,61
3	7%	70,82	30,52	8,20	27,18
4	10%	70,83	30,52	8,23	27,23
<b>Média</b>		<b>70,82</b>	<b>30,52</b>	<b>8,19</b>	<b>27,33</b>

Fonte: Autores, (2018).

### III.4 QUEIMA DOS CORPOS DE PROVA

O processo de queima dos corpos de prova foi realizado em fornos elétrico da marca JUNG, serie FO7170, onde se utilizou temperaturas de sinterização a 900°C com 3 (três) patamares diferentes, sendo o 1° (primeiro) de 0:03min a 450°C, o 2°(segundo) de 0:03min a 600°C e o patamar final de 0:30min a 900°C, com intervalos entre patamares de 1:15h.min, 0:30min e 1:00h respectivamente somando um tempo de 227min. A temperatura inicial foi de 30°C com taxa de aquecimento de 5°C/min com isoterma de 30 min e taxa de resfriamento de 75°C por hora em um intervalo de 12h (doze horas) (Figura 2).

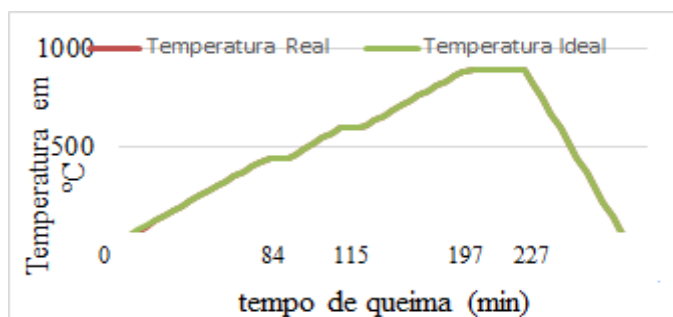


Figura 2: Curva de queima dos corpos de prova.

Fonte: Autores, (2018).

Após queima os corpos de prova foram medidos através de paquímetro 0 - 150mm profissional de aço inoxidável, da marca digital caliper Western, afim de analisar comparativamente com as medições dos corpos de prova verde e seco. Foi medido comprimento, largura e espessura respectivamente afim de verificar o valor da retração linear.

## IV ENSAIOS FÍSICO MECÂNICOS

### IV.1 UMIDADE DE PRENSAGEM

A umidade de prensagem foi obtida através dos valores medidos da massa úmida ( $M_u$ ) e massa seca ( $M_s$ ), as quais foram realizados antes e após secagem, respectivamente.

O valor de umidade de prensagem foi calculado utilizando a seguinte equação:

$$\text{---} \quad (2)$$

U = Umidade  
 $M_u$  = Massa úmida  
 $M_s$  = Massa seca

### IV.2 PERDA AO FOGO

Para calcular o valor do percentual da variação de massa após queima a 900°C, utilizou-se a equação de perda ao fogo:

$$\text{---} \quad (3)$$

PF = Perda ao fogo  
 $M_s$  = Massa seca  
 $M_q$  = Massa após queima

### IV.3 RETRAÇÃO LINEAR

Os corpos de prova foram medidos seus comprimentos antes da secagem ( $L_0$ ) e após a queima ( $L_1$ ), onde se determinou a retração linear dos corpos de prova após a queima, através da seguinte equação:

$$\text{---} \quad (4)$$

$L_0$  = Comprimento verde  
 $L_1$  = Comprimento após queima

### IV.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para o cálculo de absorção de água das amostras, foi utilizado a seguinte equação:

$$\text{---} \quad (5)$$

$P_u$  = massa do corpo úmido (g)  
 $P_s$  = massa corpo seco (g)

A porosidade das amostras foi determinada através da seguinte equação:

$$\text{---} \quad (6)$$

$P_i$  = massa do corpo imerso em água (g)

### IV.5 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

A massa específica aparente é a medida da densidade dos corpos de prova, a qual foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$\text{---} \quad (7)$$

### IV.6 TENSÃO A RUPTURA À FLEXÃO (TRF)

Na medida de tensão e ruptura à flexão foi determinada através de um flexímetro, marca NANNETTI FAENZA, modelo CC 6696. 20076, fabricado no ano de 2014, com número de matrícula 1402012 (Figura 3).



Figura 3: Flexímetro utilizado para ensaios de tensão de ruptura e flexão nos corpos de prova.

Fonte: Autores, (2018).

Os corpos de prova foram alinhados sobre os mancais fixado na base do equipamento, com distância entre as peças da ordem de 20% vinte por cento em relação ao comprimento do corpo de prova. O aparelho foi calibrado utilizando-se as programações de número 13, existente no equipamento onde foram obtidos os resultados em unidades de Kgf/mm<sup>2</sup>.

## V RESULTADOS

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises de fluorescência de Raios-X em amostra de argila e de lodo de ETA, ambos secos a 110°C em estufa por 24h (vinte e quatro horas).

Tabela 4: Elementos químicos encontrados por meio da fluorescência de Raio – X, na argila e lodo.

Composto	Fluorescência de Raios-X		
	Concentração (%)		
	Argila	Residuo	Massa cerâmica com 10% de residuo
Na <sub>2</sub> O	0.15	0.34	0,21
MgO	0.16	0.55	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	51.31	52.43	51,34
SiO <sub>2</sub>	43.85	30.39	43,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.30	0,06
SO <sub>3</sub>	0.05	1.44	0,09
Cl	0.007	0.04	0,005
K <sub>2</sub> O	0.36	1.24	0,41
CaO	0.01	4.65	0,15
TiO <sub>2</sub>	1.17	0.09	1,10
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.008	-	-
MnO	0.007	0.03	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.69	7,41	2,94
ZnO	0.005	0.01	0,004
Rb <sub>2</sub> O	0.002	-	-
SrO	0.006	0,02	0,005
ZrO <sub>2</sub>	0.065	0.07	0,06
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.003	0.02	0,005

Fonte: Autores, (2018).

Observa-se que os elementos encontrados em maior concentração tanto na argila como no lodo, são Óxido de Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e Óxido de Silício (SiO<sub>2</sub>). Este resultado está relacionado a origem das matérias-primas estudadas uma vez que ambas são provenientes de sedimentos da região amazônica [11].

O Quartzo é um mineral comum na argila da Amazônia, onde em estudos realizados no estado do Pará, comprovou que este material constitui cerca 61% da massa argilosa. Já para o lodo os resultados divergem por ser oriundo de ETE industrial do ramo de injeção plástica o que justifica a divergência dos resultados para o lodo de ETA [12].

O lodo da ETA, da Ponta do Ismael, complexo de captação de água bruta e tratamento também localizado na cidade de Manaus, apresentam resultados similares com os elementos encontrados fluorescência de Raio – X [13].

Este resultado mostra que o lodo é compatível para incorporação na argila para fabricação de tijolos, pois semelhança entre os materiais é importante para evitar reações indesejadas durante o processo de queima dos corpos de prova [14].

Na Figura 4, observa-se o difratograma obtido da argila analisada por difração de raio-X (RDX), onde se constata que a argila coletada das proximidades da rodovia Manoel Urbano no município de Iraduba é constituída de duas fases mais acentuadas: caulinita (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>), quartzo (SiO<sub>2</sub>).

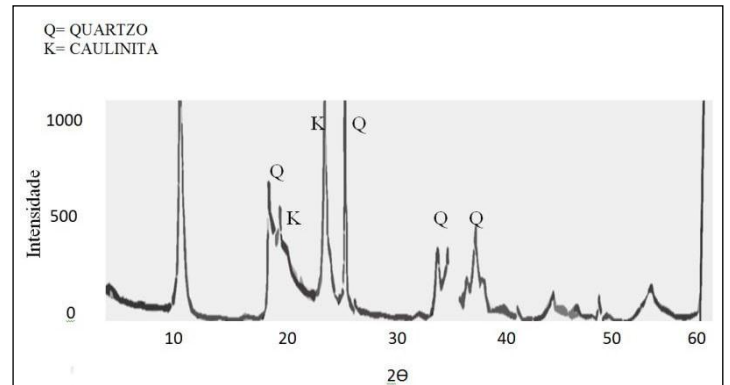


Figura 4: Difratograma de Raios-X da argila  
Fonte: Autores, (2018).

Ao considerar os resultados das análises químicas da argila e comparado com o difratograma, pode se evidenciar que a presença de Quartzo é intensa, representada como pico majoritário seguido da caulinita. Portanto, os demais elementos presentes terão influência mínima no processo de fabricação de tijolos, por estarem em baixas concentrações.

Comparando os resultados obtidos neste estudo com outros autores [12], observa-se que se diferem apenas pela baixa presença de hematita e moscovita, que não aparecem nas presentes análises.

Nota-se que, como na argila a presença de Quartzo e Caulinita são substanciais, pois apresentam os picos de maior intensidade (Figura 5).

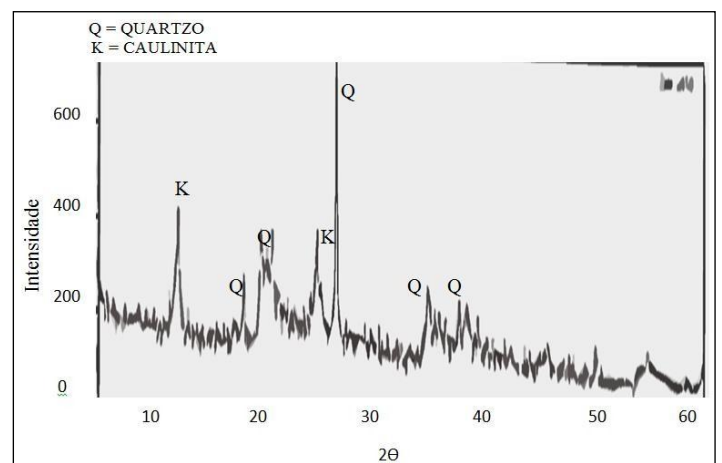


Figura 5: Difratograma de Raios-X no lodo de ETA.  
Fonte: Autores, (2018).

Nota-se que por se tratar de um material proveniente de sedimentos, a intensidade dos minerais no lodo é menor que na argila [15]. Esta semelhança dos minerais encontrada nos materiais é de extrema importância, uma vez que terá como benefício, a facilitação para incorporação do lodo na argila de forma que possa obter um bom desempenho nas análises físicas e mecânicas dos corpos de prova [16].

Formulação	Temperatura de Queima				
	900°C				
	RL (%)	AA (%)	PA (%)	MEA (%)	TRF (Kg/mm <sup>2</sup> )
0%	3,33	28,06	43,47	1,55	0,464
5%	3,34	28,77	43,77	1,52	0,431
7%	3,34	29,09	45,10	1,52	0,452
10%	3,35	30	45,36	1,51	0,463

Fonte: Autores, (2018).

Nota-se que houve um aumento na retração linear à medida que se adicionou a quantidade de resíduo na formulação da massa cerâmica, que indica um favorecimento no processo de sinterização dos corpos de prova [17] (Figura 6).

Comparando os corpos de prova com concentração com 5% e 7% é possível observar um decréscimo da retração linear, provavelmente influenciado pela presença de matéria orgânica que é volatilizada pela na queima do material cerâmico em função da elevada temperatura de sinterização.

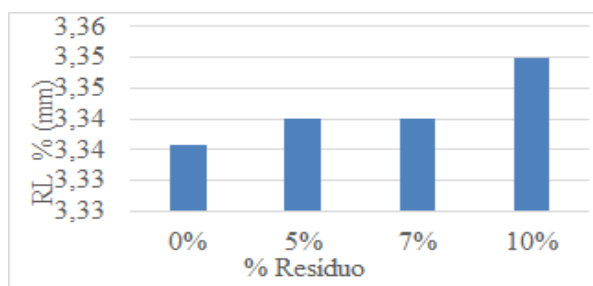


Figura 6: Retração linear nos corpos de prova.  
Fonte: Autores, (2018).

Este resultado era esperado, estudos indicam [12] que a matéria orgânica volatilizada na queima do material cerâmico em elevadas temperaturas pode prejudicar sua estrutura cristalina.

Todos os valores de retração apresentados estão dentro dos limites para esta propriedade que é abaixo de 8% .

Na Figura 7, observam-se os resultados de absorção de água dos corpos de prova em função do percentual de resíduo incorporado à argila, onde, nota-se que apesar do entre as formulações ter valores aproximados, à medida que se aumenta a quantidade de resíduo, há uma elevação na propriedade.

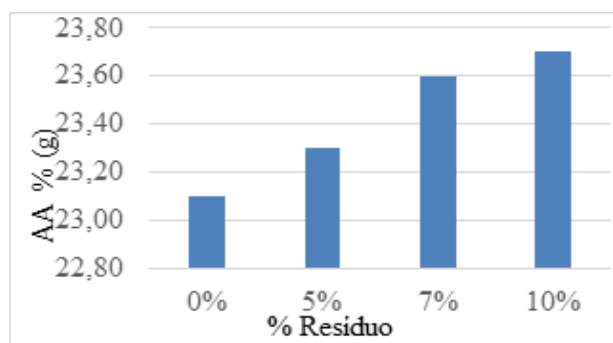


Figura 7: Absorção de água dos corpos de prova.  
Fonte: Autores, (2018).

Os resultados validam os parâmetros estabelecidos para produção de blocos cerâmicos, que é de 25% [18, 19].

Para os resultados da porosidade aparente há um aumento em função do percentual de resíduo incorporado na formulação da massa cerâmica. Este comportamento está de acordo com os valores de absorção de água mostrados anteriormente na Figura 7, uma vez que o aumento de absorção é diretamente proporcional ao crescimento de porosidade. Observa-se que não há discrepância entre os percentuais de 0%, 5%, 7% e 10%, estando os valores de acréscimo entre 43% e 46%, para os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova após queima em 900°C (Figura 8).

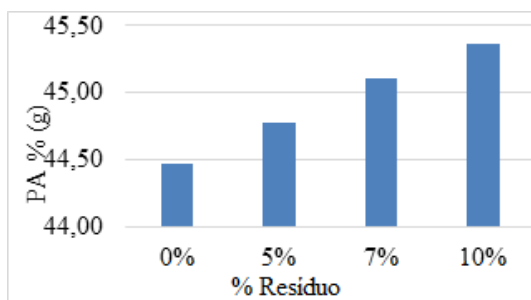


Figura 8: Porosidade aparente dos corpos de prova.  
Fonte: Autores, (2018).

Por sua vez, os resultados obtidos para massa específica mostram um pequeno decréscimo em função do aumento de percentual de resíduo. Esta diferença demonstra o bom desempenho mecânico dos corpos de prova em função do acréscimo resíduo incorporado a massa argilosa. (Figura 9)

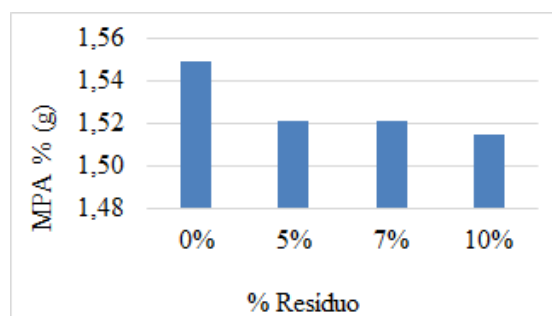


Figura 9: Massa específica aparente dos corpos de prova.  
Fonte: Autores, (2018).

Entretanto, a tensão de ruptura à flexão tem uma diminuição em relação ao aumento do percentual de resíduo incorporado à massa argilosa (Figura 10). Este é um resultado esperado qual está relacionado ao acréscimo de porosidade [20].

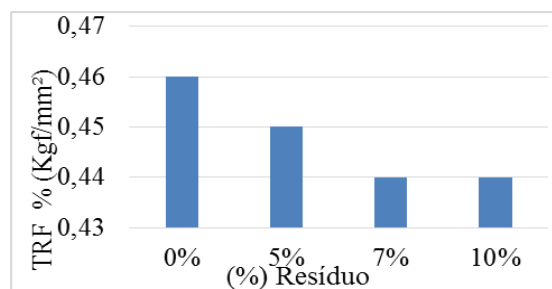


Figura 10: Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos de prova  
Fonte: Autores, (2018).

Estes valores de tensão a ruptura, não influencia de forma negativa nos corpos de prova, uma vez que a escala entre o valor,

considerando os percentuais de resíduo entre 0% e 10%, é extremamente insignificante para determinação da qualidade do produto final.

A tensão de ruptura a flexão tende aumentar com o aumento da temperatura [12]. Esta observação não é possível para este estudo, uma vez que foi utilizada apenas uma temperatura de 900°C. Para este caso os resultados de retração estão de acordo com os parâmetros da ABNT, ou seja, acima de 0,25 (Kg/mm<sup>2</sup>).

A Figura 11, a seguir mostra o difratograma dos corpos de prova queimado a 900°C, contendo 10% de resíduo incorporado à argila. Nota-se que com esse percentual após queima, houve um favorecimento para o aumento dos picos de quartzo, e uma redução nos de caulinita. As reduções da caulinita ocorrem após sinterização dos corpos de prova para que aconteça uma organização linear dos minerais presentes, possibilitando uma qualidade satisfatória do produto final.

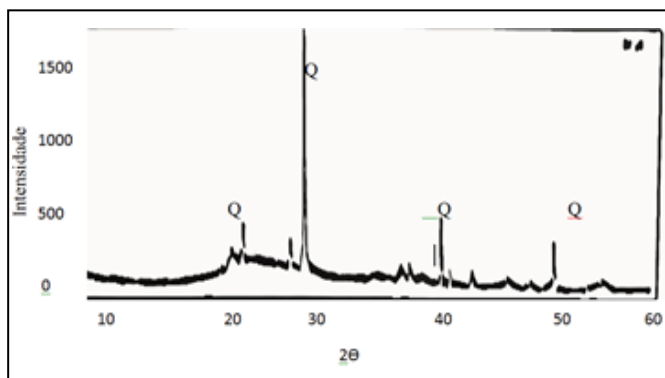


Figura 11. Difratograma de Raio – X nos corpos de prova com 10% de resíduo após queima.

Fonte: Autores, (2018).

Devido problemas mecânicos no equipamento não foi possível prosseguir com as análises para os corpos de prova com formulação 0%, 5% e 7% de resíduo incorporado em massa cerâmica.

## VI CONCLUSÃO

Ao caracterizar a argila e o resíduo de ETA, constatou-se que há uma semelhança entre os elementos químicos bem como seus componentes. Nas análises a partir da fluorescência foi possível observar um grande percentual de Óxido de Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sílica (SiO<sub>2</sub>), e pequeno teor de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). O resíduo de natureza orgânica é volatilizado durante o processo de queima dos corpos de prova.

Na difração de Raios-X, foi identificado os picos mais acentuados com elevada presença de quartzo (SiO<sub>2</sub>), Caulinita (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) na argila e no resíduo. Após queima dos corpos de prova houve diminuição da Caulinita, permanecendo o quartzo em destaque.

Esta semelhança dos argilominerais nas matérias-primas se justifica por ambos serem proveniente de sedimentos geológico da região amazônica. De acordo com as características da argila e resíduo, facilita sua mistura para fabricação de tijolos.

A viabilidade da incorporação do resíduo na argila se confirma por meio das análises físicas e mecânicas, pois obtiveram resultados satisfatórios em todas as formulações estudadas para retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão estando em consonância com os parâmetros estabelecidos pela norma.

A incorporação de lodo na massa cerâmica trará benefícios técnicos e ambientais para a área da construção civil, com

destinação correta desse resíduo, bem como a redução no uso de argila para a fabricação dos blocos cerâmicos.

Conclui-se que o resíduo de ETA pode ser incorporado na argila em até 10%, com garantia de um produto final de qualidade, conforme ABNT NBR 15.270-1/05 [19].

## VII

## REFERÊNCIAS

- [1] N. Norma, "**10004/04: Resíduos Sólidos–Classificação**," Rio de Janeiro (Brasil): Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, 2004.
- [2] C. Hoppen, K. F. Portella, A. Joukoski, E. M. Trindade, and C. V. Andreóli, "**Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental**," Química Nova, vol. 29, p. 79, 2006.
- [3] K. F. Portella, C. V. Andreoli, C. Hoppen, A. Sales, and O. Baron, "**Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna–Curitiba–PR**," in Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 2003.
- [4] C. Hoppen, K. F. Portella, A. Joukoski, E. M. Trindade, and C. V. Andreóli, "**The use of centrifuged sludge from a water treatment plant (WTP) in portland cement concrete matrices for reducing the environmental impact**," Química Nova, vol. 29, pp. 79-84, 2006.
- [5] E. S. Franco, "**Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**," 2009.
- [6] W. G. Botero, "**Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola**," 2008.
- [7] F. L. d. M. Ribeiro, "**Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito-MG**," 2007.
- [8] E. Giarola and P. C. d. O. C. Diniz, "**Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305**," Caminhos de Geografia, vol. 13, 2005.
- [9] J. R. d. P. Santos, "**Potencial de biodegradação de resíduos por Pleurotus spp.**" Universidade de São Paulo, 2014.
- [10] A. B. d. N. Técnicas, "**NBR 15270-2: Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos**," ed, 2005.
- [11] J. B. S. Costa, R. L. Bemerguy, Y. Hasui, M. da Silva Borges, C. R. P. F. Júnior, P. É. L. Bezerra, et al., "**Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais**," Revista Geonomos, vol. 4, 1996.
- [12] I. J. T. JIMENEZ, "**Utilização do lodo de estação de tratamento de efluentes da indústria de injeção plástica como matéria-prima para indústria cerâmica**," Dissertação de Mestrado, PPGEE, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA, 2011.

- [13] J. F. A. d. Silva, "**Comportamento de misturas em concreto asfáltico tendo lodo da eta da Cidade de Manaus como Filler.**" Dissertação Mestrado em Engenharia Civil Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas Manaus, 2008.
- [14] F. Santos, J. Rocha, and M. CHERIAF, "**Influência da cinza pesada empregada em substituição ao agregado natural nos mecanismos de transferência de umidade em argamassas.**" Revista Matéria, vol. 12, pp. 253-268, 2007.
- [15] J. Vitorino, S. Monteiro, and C. Vieira, "**Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa (Characterization and incorporation of wastes from Water Treatment Plant into clayey ceramic).**" Cerâmica, vol. 55, pp. 385-392, 2009.
- [16] A. C. Marques, "**Análise de similares: Contribuição ao desenvolvimento de uma metodologia de seleção de materiais e ecodesign.**" 2008.
- [17] R. Menezes, E. Fagury-Neto, M. Fernandes, P. Souto, and R. Kiminami, "**Obtenção de mullita porosa a partir da sílica da casca de arroz e do acetato de alumínio (Porous mullite obtained using silica from rice husk and aluminum acetate).**" Cerâmica, vol. 54, pp. 245-252, 2008.
- [18] A. B. d. N. Técnicas, "**Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.**" in NBR 15.270-3/05, ed. Brasil, 2005.
- [19] A. B. d. N. T. (ABNT), "**NBR 15.270-1 “Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação - Terminologia e Requisitos”.**" ed, 2005.
- [20] C. Vieira, C. Dias, A. Mothé, R. Sánchez, and S. Monteiro, "**Incorporation of blast furnace sludge into red ceramic.**" Cerâmica, vol. 53, pp. 381-387, 2007.