



## Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação

R. C. Aquino<sup>1\*</sup>, F. K. Medeiros<sup>1</sup>, L. F. A. Campos<sup>1,2</sup>

D. A. Macedo<sup>1,2</sup>, H. S. Ferreira<sup>1,2</sup>, R. P. S. Dutra<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade Federal da Paraíba

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal da Paraíba

\*Campus Universitário I, João Pessoa – PB, CEP: 58051-900

(Recebido em 28/10/2014; revisado em 01/06/2015; aceito em 01/07/2015)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

Este trabalho propõe estudar uma alternativa para reciclagem do lodo gerado no tratamento dos efluentes das indústrias têxteis, por meio de incorporação à massa argilosa para fabricação de blocos cerâmicos de vedação utilizados na construção civil. Todas as amostras utilizadas no trabalho foram previamente caracterizadas por análise química, mineralógica e análise térmica. Em seguida, as principais propriedades do produto final foram avaliadas para misturas com 0%, 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, em peso, de resíduo de lodo empregado como substituto parcial em uma massa padrão utilizada por uma indústria de cerâmica vermelha para fabricação de blocos cerâmicos. Os resultados obtidos apontam que a adição do lodo influencia nas propriedades determinadas, como diminuição da retração linear, aumento na perda ao fogo, aumento na absorção de água e diminuição na tensão de ruptura a flexão. As características físicas, químicas e mecânicas, dos materiais produzidos na formulação F2 que contém 2% de lodo, apresentou pouca variação em relação à massa cerâmica sem lodo, sendo um teor considerável para produção em escala industrial.

**Palavras-chave:** Lodo da indústria têxtil; resíduos; cerâmica vermelha.

### Abstract:

This work proposes to study an alternative to recycling the sludge generated in the treatment of effluents from textile industries, through incorporation into the clay mass to produce sealing ceramic blocks used in construction. All samples used in the study were previously characterized by chemical analysis, mineralogical and thermal analysis. Then, the main properties of the final product were evaluated for blends with 0%, 2%, 4%, 6%, 8% and 10% by weight of sludge waste used as partial substitute for a standard grease used by a red ceramic industry for the manufacture of ceramic blocks. The results show that the sludge addition influence on certain properties, such as decreased linear shrinkage, increase in loss on ignition, increased water absorption and decrease in the flexural strength. The physical, chemical and mechanical properties of the materials produced in the F2 formulation containing 2% of sludge, showed little variation from the ceramic body without sludge, and a considerable level for industrial scale production.

**Keywords:** Sludge textile industry; waste; red ceramic.

## 1. Introdução

As indústrias de processamento têxtil são importantes segmentos econômicos e sociais do estado da Paraíba, sendo a cidade de João Pessoa um grande polo industrial de confecções de toalhas. Os setores de atividades como os de tingimento de fios, lavanderias industriais, secadeiras e alvejadeiras de tecidos, geram uma grande quantidade de rejeito contendo produtos químicos misturados com água industrial. Normalmente, este rejeito é submetido a um tratamento na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) das próprias empresas, transformando-se em resíduos sólidos,

denominado por lodos, e água tratada, a qual pode ser jogada no rio de forma sustentável [1].

No entanto, os impactos ambientais causados pelas atividades realizadas em lavanderias industriais têxteis é o decorrente da geração do lodo, que, via de regra, não apresenta tratamento e destinação final adequado [2]. O destino final do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) é um sério problema, em nível mundial [3].

Quando se fala em Sustentabilidade e Ecologia Industrial, tem-se que o desenvolvimento sustentável é um compromisso certo entre os objetivos ambientais, econômicos e sociais da comunidade, permitindo o bem-estar para as gerações

\*Email: robaquino2@gmail.com (R. C. Aquino)

presentes e futuras. O conceito de desenvolvimento sustentável como uma forma geométrica, ou seja, um triângulo que engloba três áreas principais: econômica, social e ambiental [4].

Sustentabilidade se associa à permanência em tempo e espaço, construção intra e intergeracional; integração entre passado, presente e futuro; continuidade e inovação [5].

A Ecologia Industrial vem ao encontro desses conceitos, uma vez que enfatiza também uma visão sistêmica destacando-se a oportunidade de olhar para o mundo natural como um modelo de uso eficiente de materiais e energia. A Ecologia Industrial examina os materiais locais, regionais e globais e o fluxo tanto de materiais como de energia em processos, setores industriais e na economia [6].

A Ecologia industrial é uma nova abordagem para o design industrial de produtos e processos e a implementação de estratégias de produção sustentável. É um conceito no qual um sistema industrial é visto não isoladamente do seu circundante sistema, mas em conjunto com eles. A ecologia industrial visa otimizar o ciclo total de materiais virgens para o material acabado, ao componente, para o produto, a desperdiçar produto e ao descarte final [7].

Os fornecedores de matéria prima da indústria de cerâmica vermelha são compostos por empreiteiros e, na maioria dos casos, pela própria empresa, sendo esta situação mais comum no Nordeste. A produção de argila, como citado anteriormente, é regional ou até local, especialmente de mini e pequenas empresas, devido à localização das jazidas e dos compradores [8].

No estado da Paraíba o setor de cerâmica estrutural conta com cerca de 100 empresas de porte pequeno e médio (incluindo-se cerca de 30 olarias), em 30 municípios, produzindo cerca de 57.000 milheiros/mês, sendo 75% de blocos e 25% de telhas, envolvendo a oferta de 3.500 empregos diretos (570 milheiros/empresa.mês; 35 empregados/empresa). A produção é destinada para o próprio estado, além de Pernambuco e Rio Grande do Norte. O consumo de argila é da ordem de 120.000 t/mês e a produção final, de 100.000 t/mês, resultando num índice de 1.750 kg/milheiro [9].

A reciclagem do lodo das indústrias têxtil é de grande interesse industrial, pois visa contribuir para a diminuição do impacto ambiental provocado pela disposição deste resíduo no ambiente.

A incorporação de resíduos sólidos em matrizes cerâmicas quando realizada com sucesso pode resultar em ganhos tanto para os fornecedores de resíduos, resolvendo o problema de descarte, quanto para indústrias cerâmicas, reduzindo custos com a produção, reduzindo o consumo de energia, além de diminuir as atividades extrativas de argila (componente essencial do produto cerâmico).

Em linhas gerais, os benefícios provenientes desta prática relacionam-se com a redução do consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados, com a redução de áreas necessárias para aterramento, pela minimização de volume de resíduos destinados a este fim.

Este trabalho propõe estudar uma alternativa para reciclagem do lodo gerado no tratamento dos efluentes das

indústrias têxteis, por meio de incorporação à massa argilosa para fabricação de blocos cerâmicos de vedação utilizados na construção civil.

## 2. Materiais e Métodos

O lodo (resíduo) e a massa cerâmica argilosa foram doados por uma indústria têxtil e uma indústria de cerâmica vermelha, respectivamente, localizadas na cidade de João Pessoa/PB. Para caracterização das matérias primas (massa argilosa e lodo), foram preparadas amostras utilizando peneiras de acordo com a seguinte granulometria: (ABNT, abertura de 425  $\mu\text{m}$ ) para determinação das propriedades tecnológicas e (ABNT, abertura de 75 $\mu\text{m}$ ) para todos os ensaios de caracterização.

A caracterização por análise química foi realizada por meio da espectroscopia por fluorescência de raios X (FRX) nas amostras de argila e de lodo, ensaio que teve como finalidade a análise qualitativa e semi-quantitativa da composição química das amostras. A FRX foi realizada num equipamento XRF-1800 da Shimadzu. A análise mineralógica foi realizada por meio do ensaio de difração de raios X (DRX) nas amostras de argila e de lodo antes da queima, a qual teve como finalidade a identificação das fases presentes nas amostras. Os difratogramas de raios X foram obtidos num equipamento D-5000 da Siemens, utilizando-se as seguintes condições de operação: Tensão de 40 kV, corrente de 30 mA, ângulo de varredura de 5° a 65°, velocidade de 2°/min e passo de 0,02°. Na análise térmica, os ensaios de TGA e DTA nas amostras de massa argilosa e de lodo tiveram como finalidade determinar e obter a curva termogravimétrica, fornecendo a velocidade da variação massa em função da temperatura (dm/dT). Foi utilizado para análise uma taxa de 10°C/min, temperatura até 1150°C, fluxo de 50ml/min e atmosfera argônio. Os resultados foram obtidos num equipamento DTG-60H da Shimadzu. Após a caracterização da massa argilosa e do lodo, para as formulações entre a massa argilosa e do lodo foi utilizado o seguinte planejamento: ao todo foram preparadas 6 formulações conforme (Tabela 1, as quais foram denominadas de F1 à F6. Para a preparação das formulações foi utilizada a mistura manual e individual para cada formulação. Após mistura, o material foi acondicionado em potes plásticos contendo 250 g de cada formulação para desenvolvimento do trabalho. Para cada formulação foram confeccionados 18 corpos de prova.

Na confecção dos corpos de prova foram previamente separados 80 g de cada formulação e colocados para secar em estufa a 60°C por 24 h. Em seguida foi pesada a massa e adicionado 8% de água em relação à massa total, seguido de uma mistura manual, destorroamento e acondicionamento em um recipiente fechado por 24 h para homogeneização. Após a homogeneização, os corpos de prova foram prensados, utilizando uma prensa manual com uma matriz metálica de 60 x 20 mm, 13 g de material e aplicando 3,0 toneladas de pressão. Depois de confeccionado os corpos de prova, foram realizadas as medidas da massa e do comprimento dos corpos de provas úmidos. Em seguida todos os corpos de prova foram colocados em uma estufa a 110° C por 24 h. Após 24 h,

realizou-se medidas da massa, do comprimento, da largura e da espessura dos corpos de prova. Na sequência foram queimados todos os corpos de prova. Foram utilizadas três temperaturas diferentes: 950, 1050 e 1150°C. A taxa de aquecimento foi de 5°C/min e foi estabelecido um patamar final de 60 min. As propriedades tecnológicas foram

determinadas de acordo com os procedimentos propostos por Souza Santos [10]: perda de massa ao fogo (PF), retração linear de secagem e queima (RLq), massa específica aparente, absorção de água (AA), porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão (MRF).

Tabela 1. Formulações estudadas em percentagem e em gramas

Formulações	Massa Cerâmica (%)	Resíduo (%)	Massa Cerâmica (g)	Resíduo (g)
F1	100	0	250	0
F2	98	2	245	5
F3	96	4	240	10
F4	94	6	235	15
F5	92	8	230	20
F6	90	10	225	25

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise química do lodo e da massa argilosa obtida por fluorescência de raios X.

Observa-se uma maior quantidade de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na massa argilosa. A elevada quantidade de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> proporciona uma coloração avermelhada a massa. O total de óxidos fundentes (K<sub>2</sub>O, CaO, MgO e Na<sub>2</sub>O) é 7,94 %. Este resultado aponta que a massa argilosa é apropriada para fabricação de materiais da indústria de cerâmica vermelha, pois esses fundentes presentes, favorecem a queima em temperaturas entre 850°C - 950°C [11].

Tabela 2. Resultado da análise química do lodo e da massa argilosa.

Elementos	Massa Argilosa (%)	Resíduo (%)
SiO <sub>2</sub>	56,12	26,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,74	0,35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,17	0,23
K <sub>2</sub> O	2,84	0,21
CaO	2,14	4,02
MgO	1,98	2,24
TiO <sub>2</sub>	1,06	0,06
Na <sub>2</sub> O	0,98	0,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	1,50
BaO	0,10	0,03
SO <sub>3</sub>	-	2,12
Outros	0,29	0,40
PF*	8,38	61,80

\*PF – Perda ao Fogo

A análise mineralógica está representada através das Figuras 1 e 2, que indicam os difratogramas de raios X da argila e do lodo antes da queima, respectivamente.

Conforme a Figura 1, que representa o difratograma de raios X da argila, observa-se que a argila utilizada para o trabalho é constituída de quatro fases: Bornita (Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>), Calcita (CaCO<sub>3</sub>), Hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Quartzo (SiO<sub>2</sub>). Verifica-se que o pico característico do quartzo é bastante intenso, indicando sua presença de forma majoritária, seguido da calcita.

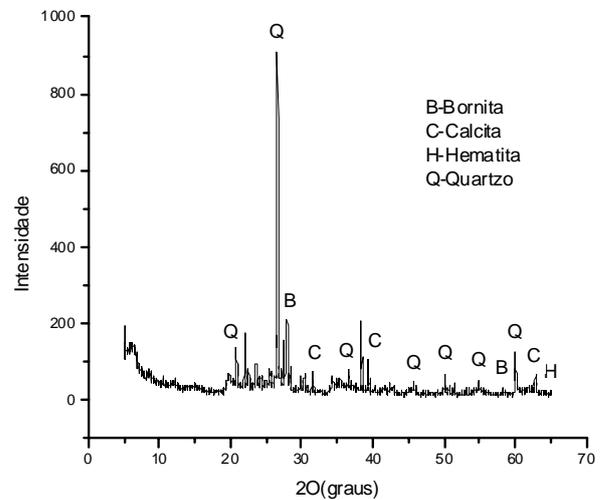


Figura 1. Análise mineralógica da massa argilosa

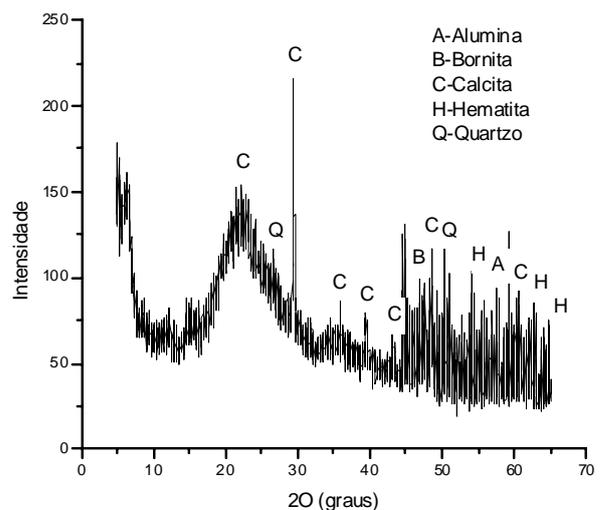


Figura 2. Análise mineralógica do lodo

Através da Figura 2, que representa o difratograma de raios X do lodo, constata-se que o lodo utilizado neste trabalho é constituído de cinco fases: Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Quartzo ( $\text{SiO}_2$ )

As Figuras 3 e 4 exibem as curvas obtidas por análise termogravimétrica (TGA) e análise térmica diferencial (DTA) da massa argilosa e do lodo, respectivamente.

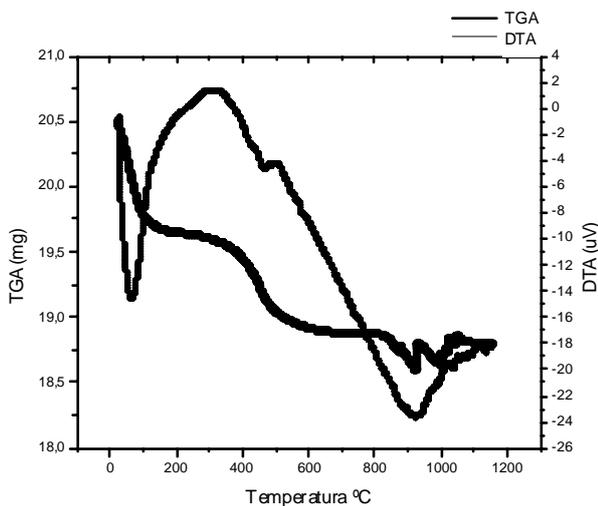


Figura 3. Análise termogravimétrica e análise térmica diferencial da massa argilosa

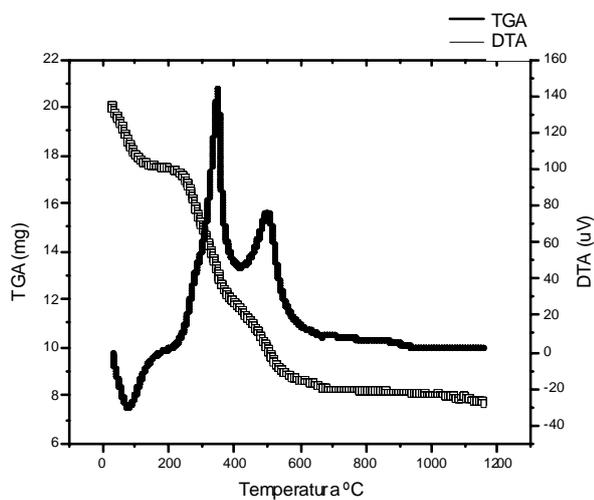


Figura 4. Análise termogravimétrica e análise térmica diferencial do lodo

Analisando a Figura 3, percebe-se que a massa argilosa com massa inicial de 20,5 mg apresentou redução logo no início do aquecimento até aproximadamente à temperatura de 90°C, referente à perda de água de umidade, em seguida, ocorreu a eliminação da água coloidal das partículas de argila, reduzindo sua massa de forma acentuada até a temperatura de aproximadamente 910°C. Observa-se também que entre 910°C

a 1150°C, a massa foi estabilizada em 18,8 mg, proporcionando uma perda de massa total de 8,38%.

A curva de DTA da massa argilosa apresenta, em aproximadamente 50°C, um pico endotérmico característico da perda de água livre, em 450°C outro pico endotérmico de pequena intensidade ainda relacionado a perda de água e a 920°C um pico endotérmico de maior intensidade, provavelmente associados a desidroxilação dos argilominerais.

Analisando a curva de TG do lodo, Figura 4, percebe-se que a massa inicial de 20,5 mg apresentou redução logo no início do aquecimento, até aproximadamente 270°C, ocorrendo nesta temperatura, provavelmente, a perda de água higroscópica das partículas argilosas do resíduo, reduzindo a massa de forma muito acentuada até 670°C aproximadamente, havendo, provavelmente, combustão e volatilização da matéria orgânica. Em seguida, manteve-se estável em 7,7 mg até a temperatura de 1150°C, com redução da massa total em 61,8%.

Na análise térmica diferencial (DTA), nota-se, em aproximadamente 70°C um pico endotérmico característico da perda de água livre; a 350°C e 500° observa-se picos exotérmicos de grande e média intensidade, respectivamente, associados à combustão de matéria orgânica.

Com relação as propriedades tecnológicas de secagem, a Tabela 3 apresenta os resultados da retração linear de secagem (RLs) e da massa específica aparente (MEA) dos corpos de provas após secagem a 110°C, com seus respectivos desvios padrão, quando preparados com o teor de umidade (TU) apresentado.

Tabela 3. Propriedades de secagem das formulações

Formulações	TU (%)	RLs (%)	MEA ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
F1	$5,33 \pm 0,28$	$0,22 \pm 0,10$	$2,02 \pm 0,04$
F2	$5,13 \pm 0,17$	$0,14 \pm 0,07$	$2,01 \pm 0,03$
F3	$5,99 \pm 0,17$	$0,26 \pm 0,09$	$1,98 \pm 0,02$
F4	$5,87 \pm 0,20$	$0,24 \pm 0,06$	$1,96 \pm 0,01$
F5	$5,64 \pm 0,23$	$0,20 \pm 0,04$	$1,90 \pm 0,01$
F6	$6,19 \pm 0,24$	$0,27 \pm 0,08$	$1,86 \pm 0,02$

De acordo com a Tabela 3 observa-se que o teor de umidade (TU) para todas as amostras ficou próximo da umidade de 6% utilizada para conformar os corpos de prova. Nota-se que o maior valor do teor de umidade (6,19%), pertencente a F6, a qual proporcionou a maior retração linear, enquanto que, a F2 com o menor teor de umidade (5,13%) foi a que teve a menor retração. Com isso, pode-se afirmar que o resíduo não influenciou na retração linear de secagem, uma vez que esta característica foi apenas influenciada pelo teor de umidade. Entretanto, a massa específica aparente foi alterada com a adição do resíduo, constatando-se uma diminuição da massa específica com o aumento do teor de resíduo. Este comportamento deve-se ao fato do lodo possuir muita matéria orgânica o que diminui a massa específica total das formulações com o aumento do percentual de lodo.

Com relação as propriedades tecnológicas de queima as Tabelas 4, 5 e 6 apresentam os resultados da retração linear de queima (RLq), da perda de massa ao fogo (PF), da

absorção de água (AA) e da tensão de ruptura à flexão (TRF) das formulações após a queima nas temperaturas de 950, 1050 e 1150 °C. Para retração linear de queima, observa-se que o resíduo influenciou fortemente no comportamento do material em todas as temperaturas. A 950 °C a formulação F1, sem adição de lodo, teve o maior valor, com 0,23% de retração. Nota-se também que da F2, com 2% de lodo, para a formulação F5 (8% de lodo), ocorreu uma diminuição da

retração linear. Este resultado está coerente com a análise química dos materiais, sendo o resíduo um material com um teor elevado de SiO<sub>2</sub> responsável pela diminuição da retração. E 1050°C as formulações F1 e F6 tiveram os maiores valores desta propriedade. Nota-se também que da F2, para a formulação F5 a retração linear praticamente constante.

Tabela 4. Resultado da análise dos corpos de provas após queima a 950°C

Formulações	RLq (%)	PF (%)	AA (%)	TRF (MPa)
F1	0,23 ± 0,09	5,51 ± 0,26	10,76 ± 0,19	5,36 ± 0,47
F2	-0,16 ± 0,00	5,39 ± 0,09	11,17 ± 0,18	4,12 ± 0,50
F3	-0,10 ± 0,09	6,40 ± 0,07	12,07 ± 0,23	2,78 ± 0,33
F4	-0,16 ± 0,00	7,18 ± 0,13	12,44 ± 0,27	2,97 ± 0,35
F5	-0,08 ± 0,09	7,73 ± 0,18	13,58 ± 0,25	2,18 ± 0,35
F6	0,19 ± 0,09	9,03 ± 0,09	14,28 ± 0,12	2,55 ± 0,26

Tabela 5. Resultado da análise dos corpos de provas após queima a 1050°C

Formulações	RLq (%)	PF (%)	AA (%)	TRF (MPa)
F1	1,18 ± 0,14	5,87 ± 0,11	9,80 ± 0,20	5,59 ± 0,76
F2	0,55 ± 0,08	5,99 ± 0,18	10,69 ± 0,22	3,86 ± 0,25
F3	0,56 ± 0,09	6,99 ± 0,25	11,51 ± 0,32	2,61 ± 0,28
F4	0,55 ± 0,08	7,24 ± 0,10	11,95 ± 0,19	2,86 ± 0,16
F5	0,56 ± 0,09	8,36 ± 0,15	13,48 ± 0,35	2,52 ± 0,30
F6	1,03 ± 0,08	10,49 ± 0,13	13,63 ± 0,25	3,22 ± 0,17

Tabela 6. Resultado da análise dos corpos de provas após queima a 1150°C

Formulações	RLq (%)	PF (%)	AA (%)	TRF (MPa)
F1	5,28 ± 0,15	6,72 ± 0,26	2,14 ± 0,20	18,76 ± 1,70
F2	4,48 ± 0,19	7,03 ± 0,14	3,33 ± 0,22	13,74 ± 0,65
F3	4,42 ± 0,12	7,20 ± 0,28	3,74 ± 0,33	12,85 ± 0,84
F4	4,61 ± 0,10	7,59 ± 0,10	4,66 ± 0,15	11,77 ± 0,77
F5	4,68 ± 0,09	8,88 ± 0,11	5,62 ± 0,24	10,24 ± 0,46
F6	5,77 ± 0,16	10,22 ± 0,14	5,65 ± 0,34	12,14 ± 0,60

No entanto, não foi possível justificar o aumento da retração para a formulação F6 para todas as temperaturas, com 10% de lodo. Neste caso, seria necessário testar uma formulação com 12% de lodo, por exemplo, para verificar se esta tendência se confirmaria, apontando assim uma mudança de comportamento da curva de retração. Com relação à perda ao fogo, verificou-se um maior valor na F6 para todas as temperaturas de queima, isso porque, como apresentado anteriormente nas curvas termogravimétricas (Figuras 3 e 4), o lodo perde mais massa com a temperatura do que a massa argilosa. Com isso, quanto maior o percentual de lodo na formulação, maior será a porcentagem de perda de massa. O aumento da perda de massa com o aumento da quantidade de resíduo influenciou também na absorção de água do material, conforme pode ser observado nas Figuras 5, 6 e 7. As Figuras mostram claramente que a porcentagem de absorção de água para todas as temperaturas de queima, a qual está diretamente relacionada com o índice de vazios do material, é maior com

o aumento do percentual (%) de substituição, podendo existir mais porosidade no material. Nota-se que quanto mais lodo coloca-se na massa argilosa, mais poroso será o material. Conseqüência deste comportamento e o maior número de concentradores de tensão que fragiliza a peça, diminuindo a resistência a ruptura com o aumento do teor de resíduo, conforme pode ser observado nas Figuras 8, 9 e 10. O mesmo comportamento das propriedades após queima a 1150°C foi observado para as temperaturas de 950°C e 1050°C. Observa-se pouca variação nas propriedades entre as formulações F2 a F5 para queima a 1150°C. Nessa temperatura, é possível observar que os valores da retração linear, da perda de massa e da tensão de ruptura são bem maiores do que para as temperaturas de 950°C e 1050°C, enquanto que os valores da absorção de água são menores. Pode-se observar que quanto maior a tensão de ruptura à flexão, menor será a absorção de água

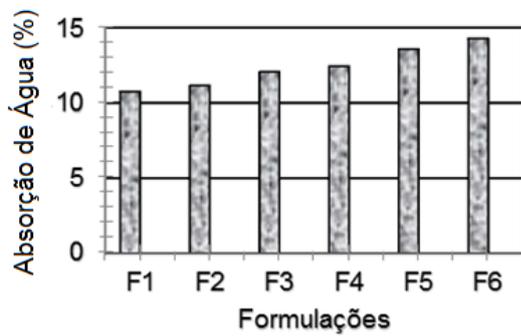


Figura 5. Absorção de água das formulações a 950°C

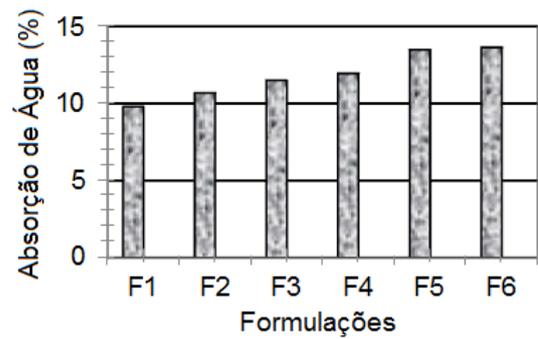


Figura 6. Absorção de água das formulações a 1050°C

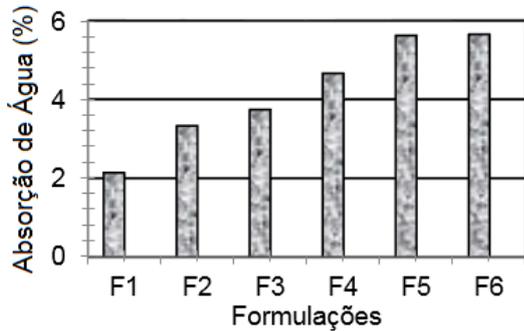


Figura 7. Absorção de água das formulações a 1150°C

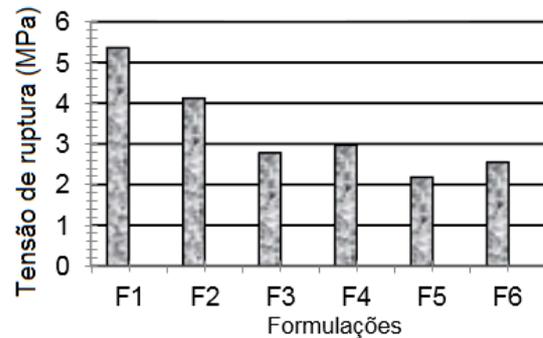


Figura 8. Tensão de ruptura a flexão das formulações a 950°C

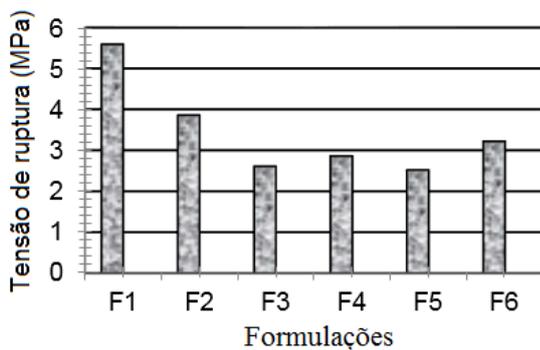


Figura 9. Tensão de ruptura a flexão das formulações a 1050°C

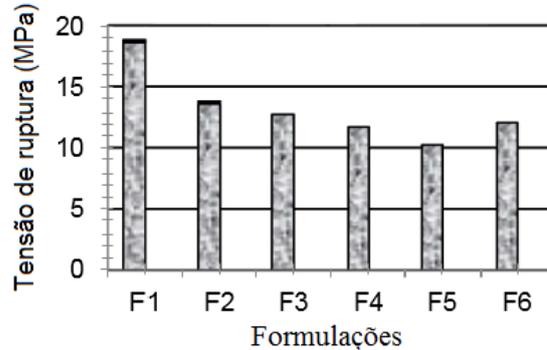


Figura 10. Tensão de ruptura a flexão das formulações a 1150°C

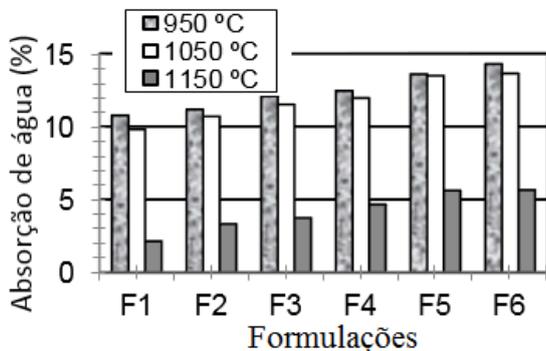


Figura 11. Comparativo da absorção de água das formulações a 950 °C, 1050 °C e 1150°C

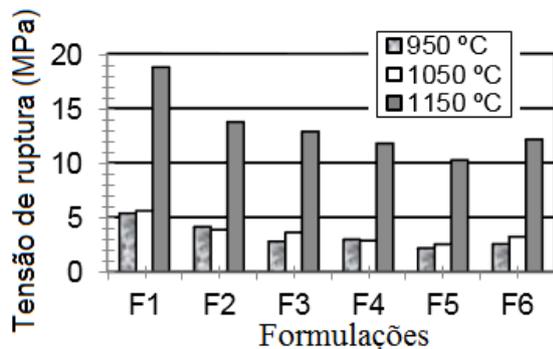


Figura 12. Comparativo da tensão de ruptura a flexão das formulações a 950 °C, 1050 °C e 1150°C

A Figura 11 exibe o comparativo dos resultados do teste de absorção de água dos corpos de provas nas três temperaturas, utilizados para confecção das amostras. A diminuição da absorção de água com o aumento da temperatura ocasiona uma maior aproximação das partículas, devido a maior energia recebida, e com isso ocorre diminuição da porosidade. Provavelmente, na temperatura de 1050°C pode ter ocorrido formação de fase líquida, proporcionando uma elevada densificação do material. Para todos os casos, a absorção de água foi maior com o aumento do teor de lodo incorporado a massa cerâmica.

A Figura 12 exibe o comparativo da tensão de ruptura à flexão das formulações nas três temperaturas de queima. Observa-se que a resistência à flexão aplicada nas amostras, diminui com acréscimo de lodo, pois, conforme comentado anteriormente, o aumento da porosidade, diminui a resistência, pois aumenta o número de concentradores de tensão que fragiliza a peça. Nota-se também que com o aumento da temperatura houve um considerável aumento da resistência à flexão, principalmente na temperatura de 1150°C, devido à diminuição considerável da porosidade.

#### 4. Conclusões

Nas análises das características das matérias primas utilizadas, observou-se uma maior quantidade de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na massa argilosa. A quantidade elevada de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> proporciona uma coloração avermelha ao produto final. O teor total de óxidos fundentes (K<sub>2</sub>O, CaO, MgO e Na<sub>2</sub>O) de 7,94%, aponta que a massa argilosa é apropriada para fabricação de materiais da indústria de cerâmica vermelha, pois os fundentes presentes, irão proporcionar uma queima em temperaturas mais baixas. O lodo adicionado na massa de argila na proporção de 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, em todas as temperaturas de queima, 950°C, 1050°C e 1150°C, alterou as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos corpos de provas produzidos. A retração linear após queima diminuiu com a adição de lodo. Com relação à perda ao fogo, verificou-se que a perda aumenta com maior percentual de lodo. A absorção de água aumentou com acréscimo de lodo, proporcionando peças mais porosas e conseqüentemente menos resistentes. Verificou-se que a temperatura de queima influenciou também nas propriedades das peças. Quando queimado um lote, a exemplo da F2, aumentando-se a temperatura de 950°C para 1150°C, diminui a absorção de água e aumenta a resistência à flexão das peças. As características físicas, químicas e mecânicas, dos materiais produzidos na formulação F2 com 2% de lodo, apresentou pouca variação em relação à massa cerâmica sem lodo. Logo, em escala industrial, 2% de lodo, pode ser bastante considerável. Portanto, com este estudo é possível utilizar 2% de adição de lodo em massas argilosas utilizadas pelas

indústrias de cerâmica vermelha para produção de blocos cerâmicos de vedação.

#### Referências

- [1] Herek, L. C. S., Junior, A. T. S., Pavezzi, C. C., Bergamasco, R., Tavares, C. R. G. Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos. *Cerâmica*, 55 (335), 326-331, 2009.
- [2] Galassi, C., Almeida, P. H. S., Barbosa, P. P., Franco, J. M., Tavares, C. R. G. Utilização de lodo de lavanderias industriais na fabricação de blocos cerâmicos acústicos. *Anais do III Seminário de Pós-Graduação em Engenharia Urbana*. Maringá-PR; 2012.
- [3] Nuvolari, A., Coraucci, B., Silva, L. G., Fadini, P. S. Estudos para orientar o aproveitamento de um lodo oriundo de um valo de oxidação na melhoria de um solo, In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo; 2009.
- [4] Ciegis, R., Ramanauskienė, J., Martinkus, B. The concept of sustainable development and its use for sustainability scenarios. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 2, 28-37, 2009.
- [5] De Azevedo Irving, M., Bursztyn, I., Sancho, A. P., Melo, G. D. M. Revisitando significados em sustentabilidade no planejamento turístico. *Caderno Virtual de Turismo*, 5 (4), 10-12, 2005.
- [6] Ribeiro, F. M. G., Junior, A. V. O Reuso da água no contexto da ecologia industrial, 1st International Workshop – *Advances in Cleaner Production*. Campinas, 2010.
- [7] Jelinski, L. W., Graedel, T. E., Laudise, R. A., Mccall, D. W., Patel, C. K. N. Industrial ecology: concepts and approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 793-797, 1992.
- [8] Reinaldo, L. L., Bezerra, F. D. Artigo, Banco do Nordeste do Brasil S/A, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. *Informe Setorial Cerâmica Vermelha*; 2010.
- [9] Schwob, M. R.V., Carlos, M. E. M., Junior, M. F. H., Rodrigues, J. A. P., Tapia, R. S. H. C. *Panorama da indústria de cerâmica vermelha no Brasil*. Rio de Janeiro; 2012.
- [10] Souza Santos, P., *Ciência e Tecnologia de Argilas*, 3ªed., Vol. 1. São Paulo: Edgard Blücher; 1992.
- [11] Junior, M. C., Motta, J. F. M., Almeida, A. S., Tanno, L. C. *Argilas para cerâmica vermelha, rochas e minerais industriais – CETEM*, 2005.