

1308 LODO DE ETA COMO INSUMO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS CONVENCIONAIS

Viviane Feijó Machado⁽¹⁾

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Farroupilha, Bióloga (1997) e Especialista em Qualidade e Meio Ambiente (1999) pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia (2013) pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Daniela Lupinacci Villanova⁽²⁾

Doutora (2004) e mestra (1999) em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade do Rio Grande do Sul, Engenheira Mecânica (1996) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e professora e orientadora do curso de Mestrado Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Farroupilha, RS, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Av. Imperatriz Leopoldina, 2501, Pinheiro - São Leopoldo - RS, - CEP: 93.048-395 - Brasil - Tel: +55 (51) 3579-6111 - e-mail: vivi.fm@tche.com.

RESUMO

O processo de tratamento de água convencional utiliza etapas básicas para transformar a água bruta em água potável. Na etapa de decantação é gerado grande volume de lodo com alta variabilidade e contendo diversas partículas que causam cor e turbidez à água. A destinação adequada do lodo produzido é essencial, pois tanto quanto se busca a universalização da distribuição de água potável, tanto maior será o volume do rejeito. O reaproveitamento do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em outra atividade ou processo produtivo é fundamental devido ao destino muitas vezes hoje dado a esse resíduo, geralmente disponibilizado *in natura* nos cursos d'água causando grande impacto negativo. A indústria cerâmica apresenta-se como uma forma de inertizar quaisquer materiais presentes no lodo, através da incorporação deste nas peças conformadas. O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação de lodo de ETA na argila para fabricação de tijolos convencionais e verificar o comportamento das amostras nas diferentes proporções, temperaturas e pressões de conformação. O trabalho foi desenvolvido com o lodo de uma ETA de São Leopoldo, RS, e a argila utilizada foi de uma olaria localizada no mesmo município. Foram confeccionados 60 corpos de prova com cada uma das proporções de argila/lodo: 100/0; 97,5/2,5; 95/5; 90/10; 80/20. Utilizou-se para metade deles a pressão de compactação de 25 MPa e para a outra metade de 50 MPa na conformação dos tijolos. Cada 10 corpos de prova de cada quantidade de incorporação de lodo e de cada pressão utilizada foram queimados a 900, 1000 e 1100 °C. Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos e apontam que até a incorporação de fração de 10% de lodo na massa cerâmica é possível a utilização dos tijolos convencionais confeccionados para uso interno ou sem exposição à umidade ou chuva. Ao final, junto às conclusões, ainda são apresentadas algumas recomendações para a sustentabilidade econômica, ambiental e social do processo produtivo de tratamento de água.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA; Lodo de decantador de ETA; Lodo insumo para tijolos; Agregado de argila e lodo.

INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de água convencional utiliza etapas básicas para transformar a água bruta em água potável, que são: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. São utilizados produtos químicos como agentes coagulantes, adsorventes de substâncias orgânicas, alcalinizantes, oxidantes e compostos de flúor (DI BERNARDO *et al.*, 2017). São produzidos 17,1 bilhões de m³/ano de água potável no país (BRASIL, 2011).

Na etapa de decantação é gerado grande volume de lodo com alta variabilidade e contendo diversas partículas que causam cor e turbidez à água. A cor pode ser resultado da presença de compostos húmicos e de minerais precipitados da água bruta e outros compostos, como hidróxidos de alumínio e ferro, oriundos dos produtos químicos utilizados para a coagulação (KATAYAMA, 2012). A destinação adequada do lodo produzido é essencial, pois tanto quanto se busca a universalização da distribuição de água potável, tanto maior será o volume do rejeito. O reaproveitamento do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em outra atividade ou processo produtivo é fundamental devido ao destino muitas vezes hoje dado a esse resíduo, geralmente disponibilizado *in natura* nos cursos d'água causando grande impacto negativo.

A indústria cerâmica apresenta-se como uma forma de inertizar quaisquer materiais presentes no lodo, através da incorporação deste nas peças conformadas. O custo para a indústria de cerâmica e o custo do produto ao consumidor final são relevantes na viabilidade dessa destinação. O lodo pode auxiliar na redução da temperatura de queima devido à presença de fração orgânica, bem como pode reduzir a energia total do processo. A combinação do lodo com outros resíduos pode resultar em propriedades que geram produtos mais seguros e com desempenho superior aos tradicionais, além da vantagem ambiental e econômica.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar a incorporação de lodo de ETA na argila para fabricação de tijolos convencionais e verificar o comportamento das amostras nas diferentes proporções, temperaturas e pressões de conformação.

Os objetivos específicos deste trabalho são: Revisar a literatura sobre o tema; Caracterizar o lodo de ETA utilizado para a produção dos corpos cerâmicos; Promover o beneficiamento do lodo, com remoção da água em excesso para que ele esteja na umidade necessária para incorporação à argila; Produzir corpos cerâmicos com diferentes proporções para uso em testes; Caracterizar tecnologicamente os corpos cerâmicos através das propriedades físicas e mecânicas.

METODOLOGIA UTILIZADA

O trabalho foi desenvolvido com o lodo de uma ETA de São Leopoldo – RS e a argila utilizada foi de uma olaria localizada no mesmo município. Foram coletados 7 vasilhames de 2 litros de lodo de decantador durante a limpeza. Foram adquiridos por doação 8 sacos de 5 litros de argila pronta para confecção de tijolos. Tanto o lodo quanto a argila foram calcinados em estufa Solab, modelo SL-100, a 100 °C até que a umidade fosse menor do que 8%, testado com termo-balança Ohaus, modelo MB25. A argila e o lodo foram moídos e passados em peneira de 200 mesh. Após homogeneização, foi realizado o quarteamento das amostras de lodo e de argila. As amostras foram umidificadas a 4% com borrifador de água e depois homogeneizadas por peneiramento. A distribuição granulométrica da argila e do lodo foi determinada.

Foram confeccionados 60 corpos de prova com cada uma das proporções de argila/lodo: 100/0; 97,5/2,5; 95/5; 90/10; 80/20. Utilizou-se para metade deles a pressão de compactação de 25 MPa e para a outra metade de 50 MPa na conformação dos tijolos. Cada 10 corpos de prova de cada quantidade de incorporação de lodo e de cada pressão utilizada foram queimados a 900, 1000 e 1100 °C, com taxa de aquecimento de 180 °C/h e patamar de queima de 0,5 h. Na Figura 1 e Tabela 1 estão mostrados a organização das amostras de A0 I T1 à A4 II T3. As amostras A4 foram preparadas posteriormente à foto da figura 1, pois durante a execução dos ensaios os resultados foram um tanto quanto similares, então definiu-se por outra fração para haver uma linha de corte.

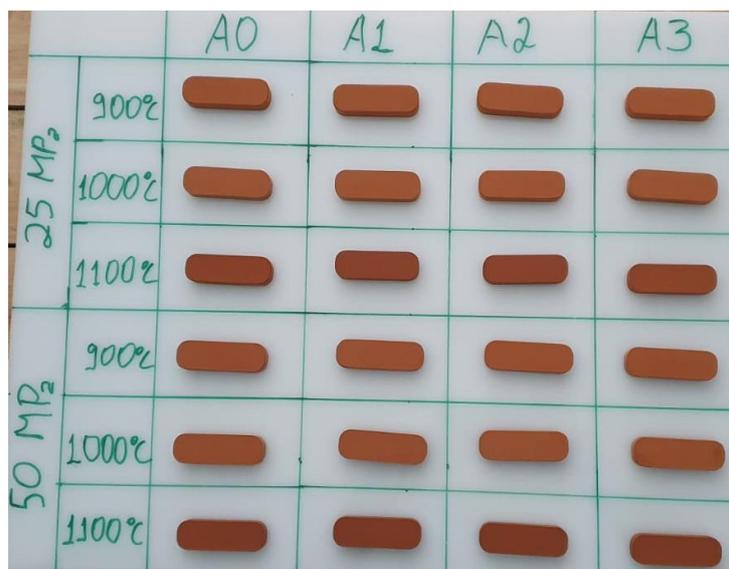


Figura 1: Exemplos de amostras dos tijolos para ensaios.

Tabela 1: Códigos das amostras utilizados para organização dos ensaios e testes.

AMOSTRAS (argila/lodo)	PRESSÃO	TEMPERATURA		
		T1 (900 °C)	T2 (1000 °C)	T3 (1100 °C)
A0 (1,000;0,000)	I (25 MPa)	A0 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A0 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A0 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A0 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A0 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A0 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
A1 (0,975;0,025)	I (25 MPa)	A1 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A1 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A1 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A1 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A1 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A1 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
A2 (0,950;0,050)	I (25 MPa)	A2 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A2 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A2 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A2 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A2 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A2 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
A3 (0,900;0,100)	I (25 MPa)	A3 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A3 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A3 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A3 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A3 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A3 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
A4 (0,800;0,200)	I (25 MPa)	A4 I T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A4 I T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A4 I T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
	II (50 MPa)	A4 II T1 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10	A4 II T2 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	A4 II T3 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

A retração linear de queima foi medida com o uso de paquímetro para verificar a variação da medida do comprimento antes e depois da queima para posteriores cálculos. A perda de massa após queima foi medida com o uso de balança de precisão antes e após a queima e posteriormente foram feitos os cálculos. Foi medida a absorção da água após a queima com o uso de balança analítica da Bel Engineering, modelo Mark 210A. Foi realizada análise de resistência mecânica para verificar a tensão de ruptura em, no mínimo, oito das dez amostras de cada variável, temperatura, pressão e proporção de lodo com equipamento de ensaio Quanteo adaptado para EMIC para até 2.000 kN (Figura 2). Para esta análise foi empregado o método de resistência à flexão a 4 pontos.

A caracterização química da amostra de lodo foi realizada pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, EPA 3050, Método 3111 A, B, D e Método 2540 C, D, E. Para a amostra de argila foi usado o equipamento FRX, utilizando 10 mg de cada amostra moída e peneirada a 200 mesh, através de análise quantitativa com curva de calibração a partir de padrões de rocha tabelados da Geostandards I e metodologia de preparo de amostra de pastilha prensada. A análise de elementos maiores foi no método GRP2 (método dos parâmetros fundamentais (FP) com curvas de calibração). A presença de voláteis foi avaliada através de técnicas gravimétricas, expondo 1 g de amostra a 1050 °C por uma hora. Foi empregado o espectrômetro de fluorescência de raios X RIX 2000, da marca Rigaku.



Figura 2: Exemplos de ensaio com EMIC com detalhe da ruptura na amostra.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados da granulometria do lodo e da argila são apresentados na Tabela 2 e 3 e mostram-se similares. Os dados apresentados demonstraram que aproximadamente 98% do material contido no lodo são representados pela fração fina de silte e argila, bem como, cerca de 97% da composição da argila é representada por silte.

Tabela 2: Distribuição granulométrica do lodo.

Nº DA PENEIRA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	% ACUMULADA	% PASSANTE
270	2,00	0,37	0,32	0,32	99,68
200	2,83	1,39	1,18	1,50	98,50
140	4,00	17,52	14,93	16,43	83,57
100	5,66	89,01	75,86	92,28	7,72
70	6,73	8,89	7,57	99,86	0,14
50	9,51	0,01	0,01	99,86	0,14
40	12,70	0,00	0,00	99,86	0,14
Fundo	0,00	0,16	0,14	100,00	0,00
	Σ	117,33	100,00		

Tabela 3: Distribuição granulométrica da argila.

Nº DA PENEIRA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETIDO (g)	% RETIDA	% ACUMULADA	% PASSANTE
270	2,00	0,59	0,51	0,51	99,49
200	2,83	3,00	2,57	3,08	96,92
140	4,00	2,20	1,89	4,97	95,03
100	5,66	55,34	47,50	52,47	47,53
70	6,73	54,32	46,62	99,08	0,92
50	9,51	0,20	0,17	99,26	0,74
40	12,70	0,14	0,12	99,37	0,63
30	16,00	0,00	0,00	99,38	0,62
Fundo	0,00	0,73	0,62	100,00	0,00
	Σ	116,52	100,00		

A retração linear das amostras A0, A1, A2 e A3 se mostrou muito próxima nas três temperaturas de queima, com uma tendência a aumentar com a temperatura. No entanto, a amostra A4 apresentou um comportamento diferente nas mesmas temperaturas de queima. Na temperatura de 1100 °C houve um pequeno aumento na retração linear com o aumento da fração de lodo utilizado nas amostras. A semelhança também é evidente quando comparadas as pressões de conformações. Os resultados de retração linear são apresentados na Figura 3.

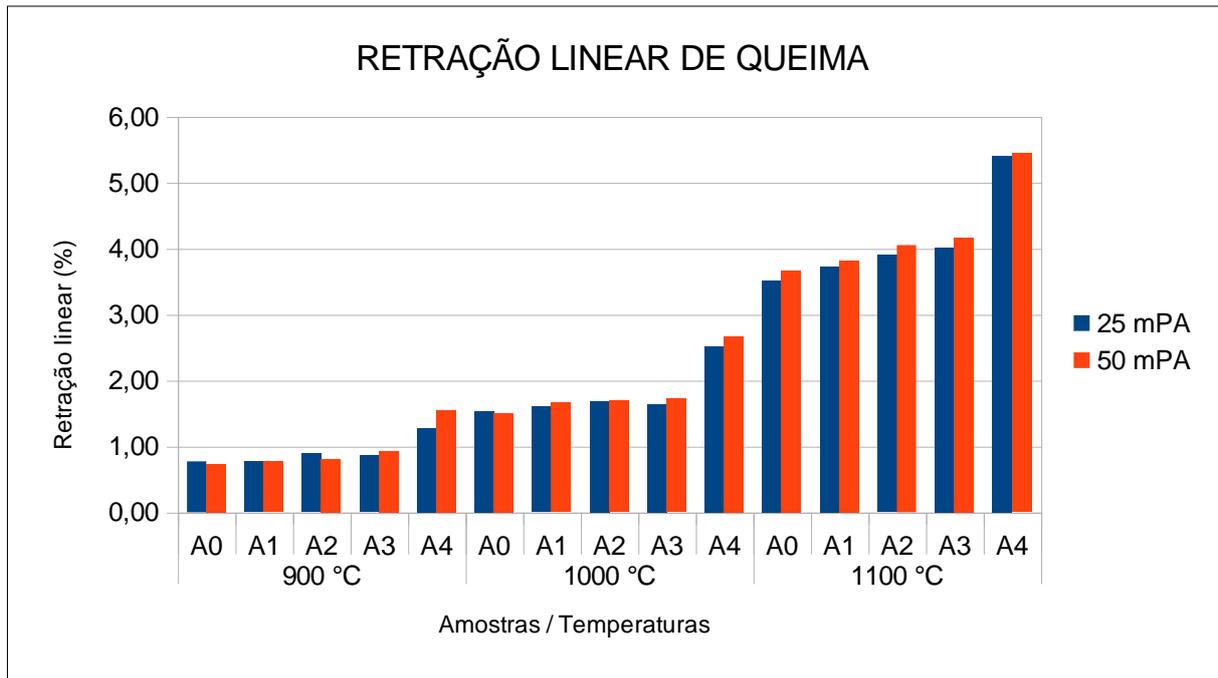


Figura 3: Resultados médios de retração linear de queima das amostras.

Em relação à perda de massa, as amostras comportaram-se de forma semelhante em todas as temperaturas. Houve um aumento da perda de massa proporcional ao aumento da fração de lodo, sendo mais significativo o aumento da perda de massa na proporção de 20% de lodo na massa cerâmica (A4). O comportamento das amostras nas duas pressões de conformação também se mostrou semelhante. Os resultados de perda de massa na queima são apresentados na Figura 4.

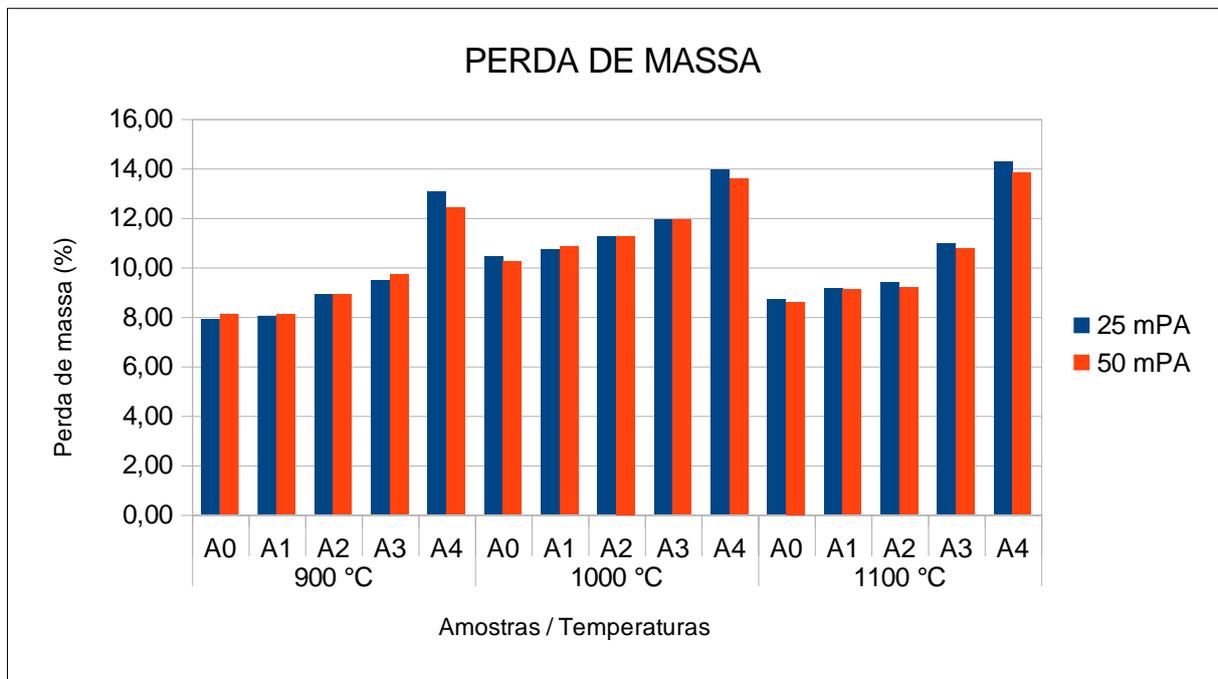


Figura 4: Resultados médios de perda de massa na queima das amostras.

A absorção da água, quando utilizada a pressão de 25 MPa na conformação dos tijolos, foi maior do que quando utilizada a pressão de 50 MPa. Em ambas as pressões, não houve uma variação muito significativa, ocorrendo

eventualmente um leve aumento da absorção proporcional ao aumento da fração de lodo adicionada à massa de argila, lembrando que esta fração foi sempre duplicada para cada tipo de amostra. A exceção ocorreu com as amostras A4, cujo aumento da absorção deu-se nas duas pressões de conformação, sendo mais evidenciado na de 25 MPa. Os resultados de absorção de água são apresentados na Figura 5. A tendência de comportamento observada foi uma redução da absorção de água com o aumento da temperatura, conforme esperado.

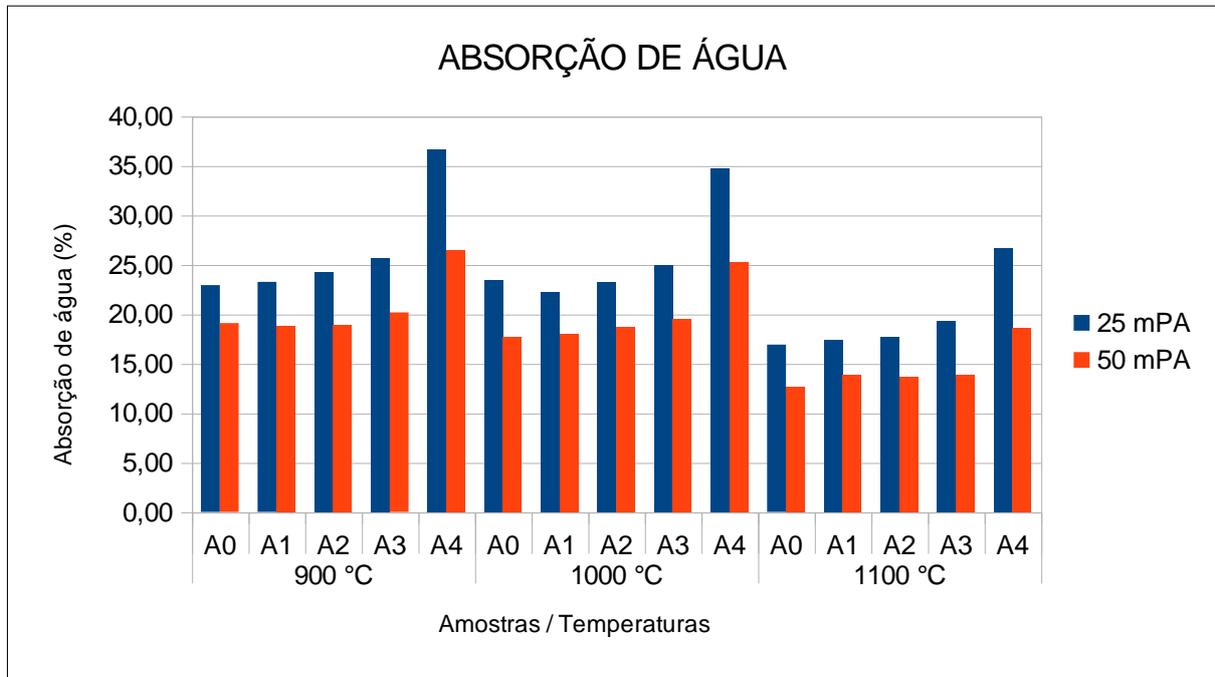


Figura 5: Resultados médios de absorção de água das amostras.

A resistência mecânica apresentada pelas amostras revelou a diferença entre as duas pressões para todas as amostras, sendo sempre menor a tensão de ruptura para a pressão de conformação de 25 MPa (I), inclusive, para as temperaturas T1 e T2 todas as amostras de I foram menores do que a metade de II. Também ficou claro o efeito da temperatura de 1100 °C: todas as amostras mostraram um ganho de resistência mecânica; no entanto, o efeito da adição de maior teor de lodo, mais evidente a partir de 5% (A2), mostrou uma redução desta característica. A queima nas temperaturas de 900 °C e 1000 °C não levou a variações significativas da resistência. Outra observação foi em relação ao uso do maior teor de lodo nas demais temperaturas. Foi evidente a significativa redução de tensão de ruptura nas amostras A4 em todas as temperaturas, tanto para a conformação na pressão de 25 MPa quanto para 50 MPa.

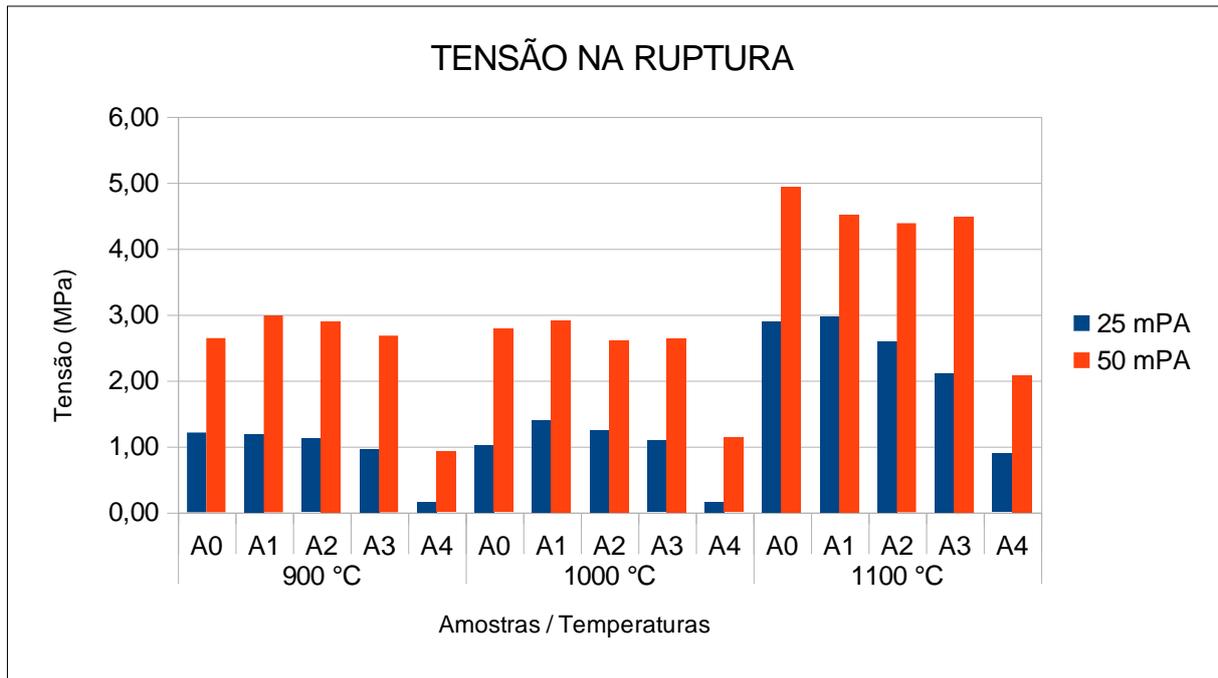


Figura 6: Resultados médios de resistência mecânica (tensão na ruptura) das amostras.

O resíduo do processo de produção de água gerado no decantador é classificado como NÃO INERTE – CLASSE IIA. A caracterização do lodo da ETA, como esperado, mostra um resíduo com componentes resultantes do coagulante utilizado no processo de tratamento da água, caracterizado por alto teor de alumínio e ferro, devido ao uso do insumo Sulfato de Alumínio Ferroso. A argila apresenta teor de SiO₂ acima de 56%. Também apresenta alto teor de ferro na sua composição. Potássio e sódio estão em baixas concentrações. Dados de caracterização do lodo e da argila são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Resultado de alguns parâmetros presentes no lodo.

PARÂMETRO	RESULTADO (mg/kg)
Alumínio Total ¹	2.967,77
Ferro Total ¹	250,61
Manganês Total ¹	47,62
Sódio Total ¹	121,18
Sólidos dissolvidos voláteis ²	222.223,30
Sólidos suspensos voláteis ³	31.005,70
¹ EPA – 3050 B e SMWW – Método 3111 A, B, D	
² SMWW – Método 2540 C	
³ SMWW – Método 2540 D, E	

Tabela 5: Resultado dos elementos maiores presentes na argila.

Elementos	Peso (% ou g/100g)
SiO ₂	56,87
Al ₂ O ₃	17,55
TiO ₂	1,59
Fe ₂ O ₃	12,43
MnO	0,12
MgO	1,09
CaO	0,73
Na ₂ O	0,24
K ₂ O	1,09
P ₂ O ₅	0,49
LOI	7,80
Total	100,00

Observação: Padrões de rocha tabelados da Geostandards.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Algumas desvantagens são apresentadas no uso do lodo de ETA como matéria-prima. Na fabricação dos tijolos cerâmicos, o problema é relacionado ao limite de plasticidade, sendo recomendado como constituinte da massa argilosa em quantidade adequada, como Anyakora (2013) identificou que a concentração maior de alumina e óxido de ferro e o reduzido teor de sílica facilitaram o declínio das resistências pela diminuição das formações vítreas, podendo ser corrigido com incorporação de outros resíduos com alto teor de sílica.

A retração linear em tijolos é um fenômeno comum que ocorre durante o processo de secagem do material, caracterizando-se por uma redução no comprimento do tijolo decorrente da remoção da água contida nele pela evaporação e perda de água química. A retração linear em tijolos é um processo esperado, mas de forma excessiva, pode comprometer a qualidade do material e causar deformações e rachaduras. Esperava-se, conforme ocorreu, que elevando a temperatura, a retração também fosse aumentada.

A perda de massa na queima dos tijolos convencionais é decorrente principalmente da eliminação da água e da matéria orgânica. As massas cerâmicas com maior teor de argila forte apresentam estabilização na perda de massa em temperaturas mais baixas, enquanto as massas cerâmicas com menor teor de argila forte apresentam estabilização na perda de massa em temperaturas mais elevadas (MAIA, 2019). A perda de massa aumentou conforme o teor de lodo devido a maior quantidade de matéria orgânica no lodo do que na argila, mantendo a proporção, conforme aumentava a fração.

A absorção de água em tijolos é um parâmetro importante para avaliar a qualidade do material e pode afetar a resistência mecânica, a durabilidade e a aparência dos tijolos, além de influenciar na eficiência energética. É determinada pela quantidade de água que o tijolo é capaz de absorver em relação ao seu peso seco. A absorção é influenciada pela porosidade dos elementos, sendo mais alta para elementos mais porosos (MASSOM, 2016). A absorção de água está diretamente relacionada à microestrutura e determina o nível de porosidade aberta das peças cerâmicas, podendo ocorrer pelos baixos graus de empacotamento dos corpos de prova, pela elevada perda de massa durante a queima e pelo baixo teor de óxidos fundentes. Conforme ABNT NBR 15270-2 (2005), na conformação com 25MPa, apenas na temperatura de 1100 °C as amostras apresentaram absorção de água dentro dos limites estabelecidos pela norma. Quando avaliada a pressão de conformação de 50 MPa, apenas com a fração de lodo de 20% superou a absorção definida pela norma.

A resistência mecânica dos tijolos determina a capacidade do material de suportar cargas sem se romper. Ela depende de sua composição e do processo de fabricação. Os tijolos convencionais são feitos de argila e queimados em fornos a altas temperaturas para endurecer e tornarem-se mais resistentes. O resultado da tensão aplicada em um tijolo depende de como a carga é distribuída, sendo que, quanto mais uniforme for, maior será a capacidade da peça suportar a carga, assim o uso influenciará nas tensões que incidirão na peça. Os tijolos são projetados para suportar cargas de compressão, e a tensão na ruptura ocorre quando a carga de compressão é tão grande que o tijolo se quebra. A tensão na ruptura é a força máxima que um tijolo pode suportar antes de falhar. Há diversas formas de testar essa tensão, inclusive empilhando peças, como realizou Corteze (2020). A tensão de ruptura apresentada pelas amostras evidenciou que na fração de 20% de lodo não é possível manter a

resistência mecânica para este parâmetro. Para todas as outras amostras, a variação não foi maior do que 1 MPa de tensão. Também pode-se destacar o provável efeito da porosidade na resistência. As amostras com maior absorção de água (e maior porosidade aberta), tendem a apresentar valores menores de resistência, pois os poros tendem a atuar como concentradores de tensão. Essa maior absorção deve estar relacionada com a maior perda de matéria orgânica com a adição do lodo, o que foi corroborado pelos resultados de perda de massa. Assim, as amostras com 20% de lodo (A4) apresentaram os menores valores de resistência. Neste sentido, entende-se que o ponto de corte para o uso do lodo na argila estudada estaria na fração de 10% (A3).

Quanto à caracterização, o lodo apresenta composição coerente com o coagulante utilizado no processo de tratamento de água, mas a argila apresenta características diferentes daquela esperada, pois o teor de sílica utilizada na produção de cerâmica convencional não costuma ultrapassar os 45%, e a composição da argila resultou em mais de 56% de teor de sílica. Este alto teor resultará em sílica livre. Também a argila apresentou potássio e sódio em baixas concentrações e estes elementos são importantes fundentes na sinterização. Sua baixa concentração pode tornar a temperatura mais elevada e aumentar a porosidade, sem o efeito de fechamento de poros que, se ocorresse, teria um efeito favorável nas propriedades analisadas

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O uso de lodo de ETA para processos produtivos viabiliza o reúso e a reciclagem e evita a destinação final *in natura*, inertizando o material. Este rejeito usado como matéria-prima contribui para a diminuição da extração do recurso natural que está sendo substituído. A redução da geração do próprio resíduo, bem como o tratamento e desaguamento são importantes para todo o ciclo do processo e podem ser abordados em estudos futuros. O diagnóstico para analisar o gerenciamento e volume de lodo de ETA é fundamental para compreender a situação, melhorar e padronizar parâmetros e discutir sobre a cultura de gestão do lodo de ETA, ou a falta dela (OLIVEIRA e RONDON, 2016).

A retração linear de queima tem pequena variação até a incorporação de fração de 10 %, sendo significativa apenas acima de 20%. Há perda de massa na queima, que se mostrou significativa apenas na incorporação da fração de 20% de lodo. Quanto à absorção de água, os tijolos conformados a 50 MPa foram satisfatórios até 10 % de fração de incorporação de lodo em todas as temperaturas. Quanto à tensão de ruptura, os resultados apresentaram pouca variação até a incorporação da fração de 10% de lodo, tendo a fração de 20% apresentado tensão de ruptura muito baixa em todas as temperaturas e pressões de conformação. Portanto, a incorporação de lodo em até 10% na massa cerâmica não apresentou influência significativa para retração linear, perda de massa, absorção de água e tensão de ruptura das amostras.

A incorporação do lodo reduz o consumo de matéria-prima natural, como areia, brita e insumos para a fabricação de cimento, pois o aglomerante usado também é reduzido, minimizando o impacto ambiental pela diminuição na extração e redução dos poluentes atmosféricos da produção de cimento, bem como contribui para a adoção de alternativas sustentáveis de destinação final deste resíduo da ETA. A mudança de abordagem da problemática dos resíduos sólidos produzidos nas ETAs é necessária para desenvolver o potencial de reaproveitamento e para uma postura coerente com princípios de desenvolvimento sustentável, bem como a ampliação dos estudos se faz fundamental para a compreensão das alternativas e sua viabilidade.

O recurso hídrico é fundamental para as operadoras de saneamento, visto que sua matéria-prima provém dele, assim a destinação adequada do resíduo é fundamental para não comprometer a sua própria atividade. A fiscalização efetiva se faz necessária para que os órgãos não fiquem à mercê de gestores que não estão preocupados com a sustentabilidade econômica, ambiental e social do seu negócio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANYAKORA, N. V. *Characterization and performance evaluation of water works sludge as bricks material. International Journal of Engineering and Applied Sciences*, Turquia, v. 3, n. 3, p. 69-79, 2013.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.270: *Bloco Cerâmico para Alvenaria*. Rio de Janeiro, 2005.
3. BRASIL. *Diagnóstico Temático – Serviços de Água e Esgoto*. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Secretaria Nacional de Saneamento – MDR. Brasília, 2011.
4. CORTEZE, L. P.; RIBEIRO, R. B.; SOUZA, A. J. S.; TAGUCHI, S. P. *Análise da resistência mecânica de tijolos ecológicos a partir da prototipagem rápida*. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n.12, p. 94710-94717 dec. 2020.
5. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 3. ed. São Carlos: Ed. Ldibe, 2017. 1246 p.



6. GUIMARÃES, C. A. O. *Avaliação do ciclo de queima nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha*. Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campo dos Goytacazes, 2017.
7. KATAYAMA, V. T. *Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica*. São Paulo: 2012. 144 p.
8. MAIA, F. A. M.; QUEIROGA, A. F. F.; RANGEL, N. V. P.; RIOS, M. A. S. *Análise da qualidade de misturas de argilas para a indústria de cerâmica vermelha*. I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade – CONIMAS, 2019.
9. MASSON, A. C.; RENZI, G.; SANTOS, S.; FLORIANI, R. *Absorção de água em tijolos*. Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 1, p. 7-24, 2016.
10. OLIVEIRA, I. Y. Q.; RONDON, O. C. *Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul*. Revista Interações, Campo Grande, v. 17, n. 4, p. 687-698, 2016.