

AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE LODO DE FOSFATIZAÇÃO NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA EM LABORATÓRIO E NA INDÚSTRIA¹

Feliciane Andrade Brehm²
Rosângela Andréia Bersch³
Décio Collatto⁴
Carlos Alberto Mendes Moraes⁵
Andrea Pampanelli⁶
Fernando Dalvite da Silva⁷

Resumo

O lodo de fosfatização (LF) é um resíduo sólido classificado como Resíduo Sólido Classe IIA - Não Inerte, segundo a Norma NBR 10004, atualmente depositado em aterro de resíduos industriais próprio (ARIP). Ele é gerado na produção de autopeças, durante o processo de revestimento fosfático. O presente estudo tem como objetivo adicionar o lodo de fosfatização em cerâmica vermelha. No estudo em escala laboratorial, foram moldados corpos de prova com adições de 2,5%, 5% e 7,5% do LF à argila e o referênci (sem adição de LF), os quais foram sinterizados à 850°C, 900°C e 950°C. Realizaram-se ensaios físicos, mecânicos e de caracterização ambiental. No estudo em escala industrial, realizado numa olaria, adicionou-se 2,5% de LF em massa para fabricação de blocos cerâmicos de 6 furos. Além destes também foram coletadas amostras de blocos sem adição de LF (referência). As amostras foram caracterizadas física, mecânica e ambientalmente. Os resultados obtidos demonstram que a adição de 2,5% de LF não compromete as propriedades analisadas. Assim, confirma-se a viabilidade da reciclagem na construção civil. Desta forma, a empresa geradora terá a oportunidade de diminuir seus custos de disposição, de gerar um co-produto e contribuir com a preservação de recursos naturais não renováveis.

Palavras-chaves: Lodo de fosfatização; Reciclagem; Blocos cerâmicos.

EVALUATION OF THE PHOSPHATIZATION SLUDGE APPLICATION IN THE PRODUCTION OF RED CERAMIC IN LABORATORY AND INDUSTRIAL SCALE

Abstract

The phosphatization sludge (PS) is a solid waste classified as Class IIA – non inert - according to NBR 10004 rule. Nowadays, this solid waste is disposed in the industrial landfill of the company. It is generated in the effluent treatment from steel recovering process via phosphatization. The aim of this work is to incorporate this solid waste in the red ceramic. In the laboratory scale research, samples were molded adding 2.5%, 5% and 7.5% of PS to the clay and a reference without PS was also molded. They were sinterized at 850°C, 900°C and 950°C. Physical, mechanical and environmental characterizations were carried out. In the industrial scale research, 2.5% of OS was added to the clay amount to produce ceramic blocks with 6 holes. Samples of blocks without PS (reference) were also tested. Theses samples were characterized with the same techniques as the laboratory ones. The results show that the addition of 2.5% of PS does not compromise the properties which were analyzed. As a result of that, it was confirmed the viability of PS application in the civil construction, and also the generator will have the opportunity to decrease its disposal costs, producing a by-product and contributing to the preservation of non-renewable natural resources.

Key words: Phosphatization sludge; Recycling; Ceramic blocks.

- ¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*
- ² *Profa. Dra. - Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS. Av. Unisinos, 950 São Leopoldo – RS, Brasil, CEP 93022-000. e-mail: felicianeb@unisinos.br*
- ³ *Aluna de Graduação – Gestão Ambiental, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Unisinos. e-mail: rosangela.andreia@gmail.com*
- ⁴ *Eng. Civil, Laboratório de Materiais de Construção Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Unisinos. e-mail: dcollatto@unisinos.br*
- ⁵ *Membro da ABM, Prof. Dr. - Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Unisinos. e-mail: cmoraes@unisinos.br*
- ⁶ *Eng. Quim., Coord. de Meio ambiente, GKN do Brasil Ltda. e-mail: andrea.pampanelli@gkndriveline.com*
- ⁷ *Aluno de Graduação – Gestão Ambiental, GKN do Brasil. e-mail: fernando.dalvite@gkndriveline.com*

1 INTRODUÇÃO

Um dos resíduos sólidos gerados pela indústria metal-mecânica é o lodo de fosfatização (LF). Este resulta do tratamento de efluentes gerados no processo de revestimento fosfático dos metais. Este resíduo é, na maioria das vezes, disposto inadequadamente em aterros sanitários e/ou lixão.

A necessidade de pesquisas no campo da valorização de resíduos sólidos industriais é uma realidade no contexto brasileiro e mundial. A crescente demanda de sistemas seguros de disposição final, tem estimulado o estudo de alternativas tecnológicas e econômicas para que resíduos possam ser introduzidos como matéria-prima, carga e agregados a outros ciclos de produção. Desta forma, é possível diminuir os custos de tratamento e disposição final e oferecer matéria-prima secundária ao mercado.⁽¹⁻³⁾

O setor de construção civil caracteriza-se, pelo grande volume de recursos naturais consumidos, podendo ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos. Segundo John,⁽⁴⁾ a construção civil é o setor responsável pelo consumo de maior volume de recursos naturais, em estimativas, que variam entre 15% e 50% dos recursos extraídos, além de seus sub-produtos serem grandes consumidores de energia. Por estas razões, é de fundamental importância o desenvolvimento de materiais alternativos que atendam a construção civil.

Algumas alternativas de reciclagem de lodos gerados durante o processo de tratamento de efluentes, na indústria da construção civil, vêm sendo estudadas, tais como: adição para a produção de clínquer de cimento Portland^(5,6) e fabricação de blocos cerâmicos.⁽⁷⁾

O presente trabalho apresenta os principais resultados obtidos, em escala laboratorial e industrial, para a reciclagem do LF, gerado no tratamento superficial de componentes metálicos da indústria metal-mecânica, como adição em blocos cerâmicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostragem

Para garantir a homogeneidade da amostra, a célula (Aterro de Resíduos Industriais próprio da Empresa geradora) onde se encontra o lodo de fosfato foi dividida em quadrados e, amostras foram retiradas destes de forma alternada (Figura 1). Para garantir a preservação da geomembrana que impermeabiliza esta célula, as amostras não foram coletadas na borda da mesma.

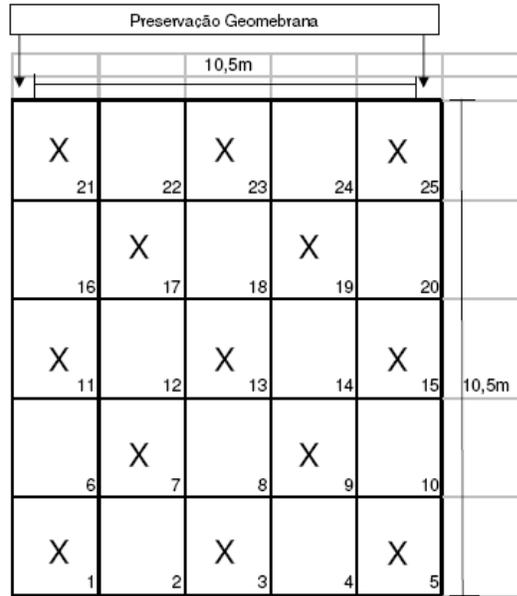


Figura 1 – Diagrama esquemático da célula do lodo de fosfatização, com identificação dos locais onde foram retiradas às amostras.

Durante a amostragem utilizou-se um trado para que a porção necessária não fosse retirada somente da superfície, mas em toda a profundidade da célula. Após, as amostras foram colocadas em uma lona onde foram quarteadas. Esse procedimento foi realizado a fim de obter uma amostra o mais homogênea possível, de acordo com NBR 10007.⁽⁸⁾

2.2 Determinação do Teor de Umidade do Lodo de Fosfato

A determinação do teor de umidade do lodo de fosfato foi realizada utilizando-se a Determinadora de Umidade - Termobalança Modelo Top-Ray. O valor encontrado para este ensaio foi de 66,18%.

2.3 Utilização do Lodo de Fosfatização em Materiais Cerâmicos

2.3.1 Escala laboratorial

- **Moldagem dos corpos-de-prova**

Nesta etapa do trabalho, foram realizados testes em escala laboratorial com as amostras de argila pura (0% adição), e lodo de fosfatização nos teores de 2,5; 5,0 e 7,5% de adição. A argila utilizada foi proveniente de uma mistura usual utilizada pela Olaria Brasil para a produção de blocos cerâmicos.

Na etapa de formulação, a determinação do limite de plasticidade da argila foi realizada segundo a norma ABNT NBR 7181/84.⁽⁹⁾ O valor encontrado na análise foi 23,71%. Este ensaio foi realizado a fim de verificar a quantidade mínima de água necessária para a moldagem dos corpos-de-prova. As formulações realizadas foram:

Amostra 0 - Argila + 24% água

Amostra 1 - Argila + 2,5% lodo de fosfato + 24% água

Amostra 2 - Argila + 5,0% lodo de fosfato + 22,3% água

Amostra 3 - Argila + 7,5% lodo de fosfato + 21,5% água

Para a obtenção das formulações os constituintes das mesmas foram misturados em uma argamassadeira de eixo horizontal.

Na etapa de extrusão, as amostras passaram por uma laminadora para uma melhor homogeneização da mistura. Depois de laminadas foram extrudadas a fim de adquirirem a forma final dos corpos-de-prova. Os quais foram identificados, pesados e tiveram suas dimensões determinadas, com auxílio de um paquímetro, para posterior avaliação da contração e da perda de massa sofrida durante o processo de secagem e sinterização.

Na etapa de secagem, os corpos-de-prova foram colocados em estufa a 110°C, por 24 horas, para eliminação da umidade. Em seguida, foram novamente pesados e medidos.

Na etapa de sinterização, os corpos-de-prova foram sinterizados em forno tipo mufla. As temperaturas utilizadas foram: 850°C, 900°C e 950°C, com taxa de aquecimento de 150°C/h e patamar de 12 horas. Após a sinterização os corpos-de-prova foram pesados e medidos novamente.

Para determinar a resistência mecânica dos corpos-de-prova cerâmicos, realizou-se o ensaio de ruptura à flexão, na Máquina Universal de Ensaio marca EMIC, modelo DL2000 (capacidade 2000 Kgf).

A Absorção de água (AA) foi determinada segundo a norma NBR 15270-3⁽¹⁰⁾.

A caracterização ambiental foi realizada através dos ensaios de lixiviação e solubilização, segundo as normas NBR 10005⁽¹²⁾ e NBR 10006⁽¹³⁾, respectivamente.

2.3.2 Escala industrial

A partir dos resultados em laboratório, os blocos foram moldados na indústria com adição de 2,5% de lodo de fosfatização, obedecendo ao fluxograma normalmente utilizado para a moldagem de blocos cerâmicos em uma olaria situada em Porto Alegre. O resíduo foi adicionado aos poucos, de forma manual, no momento em que a argila passava pela esteira em direção à maromba (extrusora). A adição foi realizada desta forma, a fim de garantir homogeneidade durante a adição e, conseqüentemente, uma distribuição igualitária da quantidade de lodo nos blocos moldados.

A determinação da tensão mínima de resistência à compressão foi realizada na Máquina Universal de Ensaio marca EMIC, modelo DL2000 (capacidade 2000 Kgf). Este ensaio estabelece a resistência mecânica dos corpos de prova.

O ensaio para a determinação da absorção de água dos corpos-de-prova cerâmicos foi baseado na norma NBR 15270-3.⁽¹⁰⁾

A caracterização ambiental foi realizada através dos ensaios de lixiviação e solubilização, segundo as normas NBR 10005⁽¹¹⁾ e NBR 10006,⁽¹²⁾ respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados e discutidos a seguir têm como base a possibilidade de aplicação do lodo de fosfatização como adição em tijolo maciço. Considerando ainda que de forma geral as olarias trabalham com temperaturas de queima próximas de 850°C, no sentido de diminuir custos energéticos, esta temperatura será tomada como base para a discussão dos resultados em laboratório comparando-os com os resultados obtidos em escala industrial.

3.1 Ensaio do Módulo da Tensão Mínima de Ruptura à Flexão

Na Figura 2 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de ruptura à flexão.

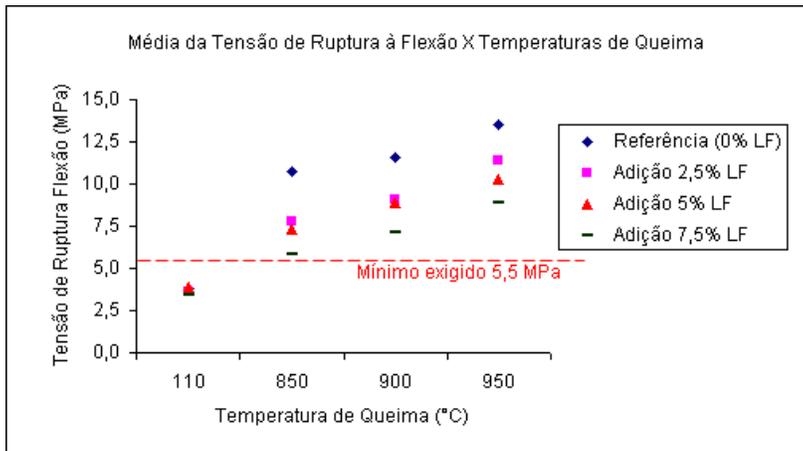


Figura 2 – Resultados obtidos para o ensaio de ruptura à flexão nos corpos-de-prova ensaiados em laboratório.

De acordo com Santos,⁽¹⁴⁾ a tensão mínima de ruptura à flexão exigida para um corpo-de-prova (CP) como o utilizado na presente pesquisa é de 5,5 MPa. Portanto, pode-se verificar pela figura 2, considerando-se a temperatura de queima de 850°C, que as adições de 2,5% e 5% de lodo atendem os requisitos ficando aproximadamente 36% acima do valor mínimo exigido, apesar da resistência a flexão nesta temperatura ficar 30% menor que a obtida com o corpo-de-prova referência.

Com relação à resistência a tensão mínima de ruptura à flexão a seco (110°C), os resultados praticamente não variaram entre o CP com adição de lodo e o CP referência. O valor encontrado é superior ao mínimo recomendado 2,5 MPa.⁽¹³⁾

Já os resultados obtidos para os blocos de 6 furos produzidos em escala industrial para o ensaio de resistência à compressão, encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos sem adição de lodo de fosfatização em escala industrial.

Blocos Cerâmicos	Dimensões		Carga (kg)	Tensão (MPa)
	c	l		
1 SR	19,2	9,2	4010	2,2
2 SR	19,3	9,2	3250	1,8
3 SR	18,8	9,1	3920	2,3
4 SR	19,2	9,1	4340	2,4
5 SR	19,3	9,2	2650	1,5
6 SR	19,2	9,3	3310	1,8
7 SR	19,1	9,3	3510	1,9
8 SR	19,3	9,3	2630	1,4
9 SR	19,1	9,2	3230	1,8
10 SR	19,5	9,3	2980	1,6
11 SR	19,0	9,2	2650	1,5
12 SR	19,0	9,1	3730	2,1
13 SR	19,1	9,1	2750	1,6
Média	19,2	9,2	3304,6	1,8

Tabela 2 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos com adição de lodo de fosfatização em escala industrial.

Blocos Cerâmicos	Dimensões		Carga (kg)	Tensão (MPa)
	c	l		
1 CR	19,0	9,2	4880	2,8
2 CR	19,5	9,2	3660	2,0
3 CR	19,3	9,3	4470	2,5
4 CR	19,1	9,3	4130	2,3
5 CR	19,3	9,3	3290	1,8
6 CR	19,0	9,2	3910	2,2
7 CR	19,2	9,2	2650	1,5
8 CR	19,4	9,3	4320	2,3
9 CR	19,0	9,2	2660	1,5
10 CR	19,0	9,3	2810	1,6
11 CR	19,1	9,2	4480	2,5
12 CR	19,3	9,2	2940	1,6
13 CR	19,2	9,3	3350	1,8
Média	19,2	9,2	3657,7	2,0

De acordo com a norma NBR15270-1,⁽¹⁰⁾ os valores mínimos de resistência à compressão atingidos pelos blocos cerâmicos devem ser $\geq 1,5$ MPa. Além disso, a norma determina que para ser aceito, um lote de amostragem simples (composto por 13 corpos-de-prova) deve apresentar no máximo duas unidades não conformes.

Analisando-se a tabela 1, nota-se que nos blocos sem adição de resíduo, um dos valores encontrados (8 SR = 1,4 MPa) encontra-se abaixo do mínimo estabelecido (1,5 MPa), sendo possível aprovar o lote por ser somente uma unidade não conforme. Já para os blocos com adição de resíduo (tabela 2), todos os valores atingiram o mínimo estabelecido, sendo possível perceber uma pequena melhora na média do valor da resistência a compressão (2,0 MPa) em relação aos blocos sem resíduo (1,8 MPa).

Os CP's e os blocos cerâmicos foram aprovados no requisito resistência à compressão.

3.2 Absorção de Água (AA)

Na Figura 3 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água (AA) em laboratório.

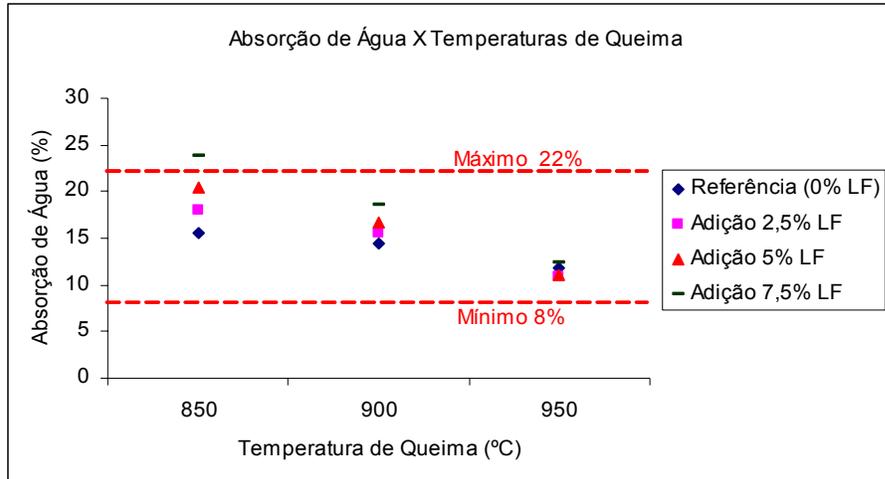


Figura 3 - Resultados obtidos para o ensaio de absorção de água em laboratório.

Os resultados de AA (Figura 3) estão associados às propriedades e ao tipo de microestrutura formada no material quando da queima. Seu controle implica em uma forma simplificada de controle da porosidade, que pode interferir em outras propriedades do produto acabado.⁽¹⁴⁾

O resultado indica um aumento na porosidade do material que aumenta com a concentração do lodo. A porosidade é formada provavelmente pela combustão da matéria orgânica do lodo na queima do material. Esse aumento de porosidade (em média 18% e 20% para os corpos-de-prova com 2,5% e 5%, respectivamente, de adição em relação ao corpo-de-prova referência) atende a norma NBR 15270-1/2005.⁽¹⁰⁾

Os resultados obtidos para a absorção de água nos blocos com e sem adição de lodo de fosfatização em escala industrial encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Absorção de água dos blocos com e sem adição de lodo fosfatização nos blocos cerâmicos industriais.

Bloco	Peso (g)		%	Bloco	Peso (g)		
	Seco	Saturado			Seco	Saturado	
14 SR	2351,1	2712,1	15,4	14 CR	2283,2	2656,7	16,4
15 SR	2263,2	2611,6	15,4	15 CR	2336	2692,5	15,3
16 SR	2269,9	2609,7	15,0	16 CR	2341,5	2695,8	15,1
17 SR	2255,9	2600,8	15,3	17 CR	2320,5	2674,5	15,3
18 SR	2268,2	2602,9	14,8	18 CR	2359,8	2716,2	15,1
19 SR	2383	2738,7	14,9	19 CR	2341,3	2696,7	15,2
Média	2298,55	2645,97	15,12	Média	2330,38	2688,73	15,38

Os resultados obtidos para AA nos blocos cerâmicos (Tabela 3) indicam que praticamente não houve aumento na porosidade do material com a adição de lodo, atendendo a NBR 15270-1/2005.⁽¹⁰⁾

Tanto os CP's como os blocos cerâmicos atendem a norma NBR 15270-1/2005⁽¹⁰⁾ no quesito AA, pois os valores obtidos são inferiores ao máximo recomendado (22%) e superiores ao mínimo recomendado (8%) pela mesma.

3.3 Avaliação Ambiental: Argila, Lodo de Fosfatização e dos Corpos-de-prova Cerâmicos

As amostras analisadas durante a avaliação ambiental foram: lodo de fosfatização e os corpos-de-prova referência e com 2,5% de adição de lodo de fosfatização *ensaiados em laboratório* (este teor foi escolhido devido aos resultados das propriedades mecânicas), nas temperaturas de 850°C (temperatura usual de trabalho nas olarias) e 950°C (para verificar a influência da temperatura no encapsulamento dos compostos na matriz cerâmica). Os ensaios de lixiviação NBR 10005⁽¹²⁾ e solubilização NBR 10006⁽¹³⁾ foram realizados na empresa Ecosulting Projetos e Consultoria Ambiental Sociedade Simples. Todos os elementos analisados (As, Ba, Cd, Pb, Cr_t, Hg, Ag, F⁻ e Se) no ensaio de lixiviação para as amostras estudadas não apresentaram lixiviação acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004,⁽¹⁵⁾ não sendo caracterizados como resíduos sólidos Classe I – Perigosos.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de solubilização de acordo com NBR 10006⁽¹²⁾ nos corpos-de-prova ensaiados em laboratório.

Tabela 4 - Resultados obtidos para o ensaio de solubilização nos corpos-de-prova produzidos em escala laboratorial.

Parâmetros	Referência (0% LF) 850°C	Lodo de Fosfatização	Adição (2,5% LF) 850°C	Adição (2,5%LF) 950°C	Limite de detecção da técnica	Limite Máximo NBR 10004 (ABNT, 2004)
Bário (mg/L)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	0,7
Cádmio (mg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,005
Sódio (mg/L)	2,57	66,36	5,075	3,025	0,01	200
Cobre (mg/L)	< 0,0015	0,028	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	2,0
Zinco (mg/L)	< 0,0015	1,348	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	5,0
Chumbo (mg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,01
Cromo total (mg/L)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,003	0,05
Ferro (mg/L)	0,392	0,714	0,602	0,528	0,03	0,3
Manganês (mg/L)	0,032	2,23	0,023	0,031	0,0015	0,1
Fenol (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,01
Dureza (mg/L)	7	976,21	221	450	zero	500,0
Nitrato (mg/L)	< 0,04	0,206	< 0,04	< 0,04	0,04	10,0
Cianeto (mg/L)	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	0,0003	0,07
Sulfato (mg/L)	1,63	1516,2	226,42	202,2	1,0	400,0
Surfactantes (mg/L)	0,112	2,41	0,265	0,265	0,01	0,5
Cloreto (mg/L)	6,02	18,16	7,35	6,68	Zero	250,0
Fluoreto (mg/L)	0,085	0,63	0,056	0,065	Zero	1,5

Observando-se os resultados obtidos para amostras estudadas é possível afirmar:

- Lodo de fosfatização

O lodo de fosfatização solubilizou os compostos ferro, manganês, dureza, sulfato e surfactantes acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004,⁽¹⁵⁾ sendo classificado como resíduo sólido Classe II – Não Inerte.

- Referência (0% adição, temperatura de queima 850°C)

A amostra referência solubilizou o composto ferro acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004⁽¹⁷⁾, sendo classificado como resíduo Classe II – Não Inerte.

- Amostra 2,5% adição LF (temperatura de queima 850°C)

A amostra com 2,5% de adição de lodo de fosfatização, na qual a temperatura de queima usada foi de 850°C, solubilizou somente o elemento ferro acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004.⁽¹⁵⁾ Este elemento também foi solubilizado pelas amostras referência e lodo de fosfatização. O valor encontrado para esta amostra é inferior (0,602 mg/L) ao detectado para o lodo de fosfatização (0,714 mg/L), o que caracteriza o encapsulamento do ferro na matriz cerâmica.

- Amostra 2,5% adição LF (temperatura de queima 950°C)

A amostra com 2,5% de adição de lodo de fosfatização, para a qual a temperatura de queima usada foi de 950°C, solubilizou o composto ferro. Para o ferro o resultado encontrado é coerente, pois, nesta amostra a quantidade solubilizada é menor do que o valor encontrado para a amostra com temperatura de queima a 850°C. Este resultado já era esperado, pois quanto maior a temperatura de queima, maior a tendência de encapsulamento na matriz cerâmica.

Os resultados obtidos para o ensaio de lixiviação para os *blocos cerâmicos produzidos em escala industrial* com e sem adição de LF, demonstram que nenhum dos elementos analisados (As, Ba, Cd, Pb, Cr, Hg, Ag, fluoretos e Se), foram lixiviados acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004.⁽¹⁵⁾ O que indica que os mesmos não são caracterizados como resíduos sólidos Classe I – Perigosos.

Os resultados obtidos para o ensaio de solubilização para as amostras estudadas em escala industrial, encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados obtidos para o ensaio de solubilização nos blocos cerâmicos produzidos em escala industrial.

Parâmetros	Bloco sem Lodo de Fosfatização	Bloco com Lodo de Fosfatização	Limite de detecção da técnica	Limite Máximo NBR 10004 (ABNT, 2004)
Alumínio(mg/L)	3,379	3,63	0,2	0,2
Arsênio (µg/L)	< 1,5	< 1,5	1,5	0,01
Bário (mg/L)	< 0,5	< 0,5	0,5	0,7
Cádmio (mg/L)	< 0,005	< 0,005	0,005	0,005
Sódio (mg/L)	2,818	4,107	0,01	200
Cobre (mg/L)	0,025	0,042	0,0015	2,0
Zinco (mg/L)	< 0,0015	0,014	0,0015	5,0
Chumbo (mg/L)	< 0,005	< 0,005	0,005	0,01
Cromo total (mg/L)	< 0,003	< 0,003	0,003	0,05
Ferro (mg/L)	0,67	0,894	0,03	0,3
Manganês (mg/L)	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	0,1
Merúrio (µg/L)	< 0,05	< 0,05	0,05	0,001
Fenol (mg/L)	< 0,001	< 0,001	0,001	0,01
Dureza (mg/L)	17	90	zero	500,0
Nitrato (mg/L)	1,849	2,655	0,04	10,0
Cianeto (mg/L)	< 0,0003	< 0,0003	0,0003	0,07
Sulfato (mg/L)	2,31	138,65	1,0	250,0
Surfactantes (mg/L)	0,153	0,755	0,01	0,5
Cloreto (mg/L)	4,13	4,81	Zero	250,0
Fluoreto (mg/L)	1,97	3,19	Zero	1,5

Observando-se os resultados obtidos para os blocos cerâmicos, é possível afirmar que ferro, alumínio e fluoretos solubilizaram, tanto nas amostras com LF, quanto nas sem LF. Houve um aumento na concentração da solubilização destes compostos. Isto já era esperado, pois o resíduo contém estes elementos na sua composição química. Cabe salientar que, alumínio, ferro e fluoretos⁽¹⁴⁾ fazem parte da composição química da argila, matéria-prima utilizada para a confecção de blocos cerâmicos. Na amostra com adição de lodo, além destes compostos, também foram solubilizados surfactantes, que provavelmente são provenientes de uma etapa do processo de fosfatização, na qual são usados desengraxantes contendo estes compostos para a limpeza das peças.

Os CP's e os blocos cerâmicos são classificados como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte segundo a norma NBR 10004⁽¹⁵⁾, isto não inviabilizaria seu uso, pois o material cerâmico comercializado pela empresa que cedeu as amostras possui a mesma classificação.

4 CONCLUSÕES

Em relação aos resultados obtidos em laboratório para as propriedades mecânicas e físicas é possível concluir que uma adição de até 5% de lodo de fosfatização no material cerâmico atende as exigências da norma e literatura, considerando as condições experimentais da presente pesquisa.

Em relação aos resultados obtidos em escala industrial, para as propriedades mecânicas e físicas, é possível concluir que os blocos cerâmicos fabricados com a adição de 2,5% de LF atendem as exigências da norma e literatura, considerando as condições experimentais da presente pesquisa.

A caracterização ambiental dos CP's e dos blocos cerâmicos demonstram que o produto industrial obtido com a adição de 2,5% de lodo de fosfatização nos blocos cerâmicos ao se transformar em resíduo seria, após seu uso, seria classificado como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte. A classificação dos blocos cerâmicos comercializados pela olaria que cedeu as amostras, é a mesma dos blocos cerâmicos produzidos com a adição de 2,5% de adição de LF - Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte, não inviabilizando, portanto seu uso.

Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem a Olaria Brasil Ltda pela colaboração no desenvolvimento do trabalho, a GKN do Brasil e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 TEIXEIRA, C. E. Évolution biochimique des résidus de désencrage dans un contexte de valorisation comme barrière de recouvrement. (Tese de doutorado). Département de génie civil, Université de Sherbrooke, Québec, 2001. 195 p.
- 2 LEIDEL, D.S. Sand reuse: user requirements, modern casting. Ontário, v.83, July, 1993, p. 38-39.
- 3 PAULI, G. Pollution-zéro, les nouvelles grappes industrielles. Écodécision, printemps, p.26-30. 1995
- 4 JOHN, V.M.J. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. Anais. IBRACON, São Paulo, 1999. p.44-55.
- 5 CAPONERO, J. Comportamento da lama de fosfatização no processo de produção de clínquer no processo de produção do clínquer de cimento Portland. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica, São Paulo, SP. 116p. 1999.
- 6 PAIVA S. N. Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil. Dissertação de mestrado defendida na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) DA Universidade de São Paulo, 2007. 111p.
- 7 GIFFONI, Patrícia de Oliveira and Lange, Liséte Celina. The use of phosphate sludge as an alternative raw material in the manufacturing of bricks. *Eng. Sanit. Ambient.*, Apr./June 2005, vol.10, no.2, p.128-136. ISSN 1413-4152

- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostragem de Resíduos Sólidos: NBR 10007. Rio de Janeiro, 2004.
- 9 ABNT NBR 7181/84
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Componentes Cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos: NBR 15270-1. Rio de Janeiro, 2005.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lixiviação de resíduos – Procedimentos: NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004.
- 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solubilização de resíduos – Procedimentos: NBR 10006. Rio de Janeiro, 2004.
- 13 SANTOS, P. Ciencia e tecnologia de argilas. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1989.
- 14 BORGIO, S.C. Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento. Dissertação de mestrado defendida no Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Ambientais no Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, 2005
- 15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos – Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.