



## RECICLAGEM INTERNA DO LODO DA ETE DE UMA INDÚSTRIA CERÂMICA

Luana Milak Furmanski<sup>1</sup> (lumilak@hotmail.com), Michael Peterson<sup>1</sup> (michael@unesc.net)

<sup>1</sup> Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Grupos de Pesquisa de Reatores e Processos Industriais e de Desenvolvimento de Materiais a partir de Resíduos (VALORA)

### RESUMO

A indústria cerâmica tem polo concentrado no extremo sul catarinense. O presente estudo foi desenvolvido em uma destas empresas, a qual produz: composto de engobes e esmaltes, bases serigráficas, corantes, fritas cerâmicas e granilhas. No entanto, esta produção gera diversos impactos ambientais negativos ocasionados pela geração de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes sanitários e industriais. Contudo, desenvolveu-se um projeto de reciclagem interna de um resíduo (lodo gerado na ETE) visando a produção mais limpa (P+L). Tal projeto englobou o tratamento do efluente industrial, a atomização para reciclar o lodo gerado por este tratamento e o desenvolvimento de produtos cerâmicos utilizando o insumo reciclado produzido. Com os ensaios experimentais relacionados ao tratamento de efluente, foi possível identificar, entre os coagulantes testados, que o PAC foi o mais eficiente, tanto para a clarificação da água quanto para a quantidade de lodo sedimentado. O processo de atomização foi estudado por meio de um teste piloto, no qual se constatou a possibilidade de transformar o lodo cerâmico em um insumo para a indústria em questão. Este insumo foi usado em formulações de engobe e frita cerâmica, mostrando bons resultados no produto final, podendo, portanto, ser utilizado em escala industrial. Isso, além de diminuir custos com destinação final do resíduo em aterro sanitário industrial, possibilita o uso do mesmo dentro do próprio processo produtivo, minimizando também o consumo de matérias-primas e, conseqüentemente, a extração das mesmas no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Tratamento de efluente, Lodo cerâmico, Reciclagem interna.

## INTERNAL RECYCLING PLANT OF WWTP SLUDGE FROM CERAMIC INDUSTRY

### ABSTRACT

The ceramic industry is concentrated at the southern end of Santa Catarina. This study was conducted in one of these companies, which produces: engobes and glazes, screen printing bases, dyes, ceramics frits and grits. However, this process creates negative environmental impacts due to generation of solid waste, air emissions and sanitary and industrial wastewater. Therefore, an internal recycling project of a waste (sludge generated in WWTP) was developed aiming to a cleaner production. This project involved the treatment of industrial wastewater, spray drying to recycle the sludge generated by this treatment and the development of ceramic products using recycled material. In the experimental tests relating to wastewater treatment, it was possible to identify, among the tested coagulants, that the PAC was the most effective, both for the clarification of water and for the amount of sedimented sludge. The process of spray drying was studied by a pilot test, in which was found the possibility of transforming the ceramic sludge in a raw material for the industry in question. This material was used in engobe and ceramic frit formulations with good results in the final product, indicating that it can be used on an industrial scale. This, beyond of reducing the cost of disposal in the industrial waste landfill, enables the use of this waste within the production process, while minimizing the consumption of raw materials and, consequently, the extraction of these in the environment.

**Keywords:** Wastewater treatment, Ceramic sludge, Internal recycling.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA  
Politécnica



Universidade de Brasília





## 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos, de acordo com a ABNT NBR 10004/2004, são conceituados como resíduos nos estados sólido e semissólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo os lodos provenientes de sistemas de tratamento de efluentes.

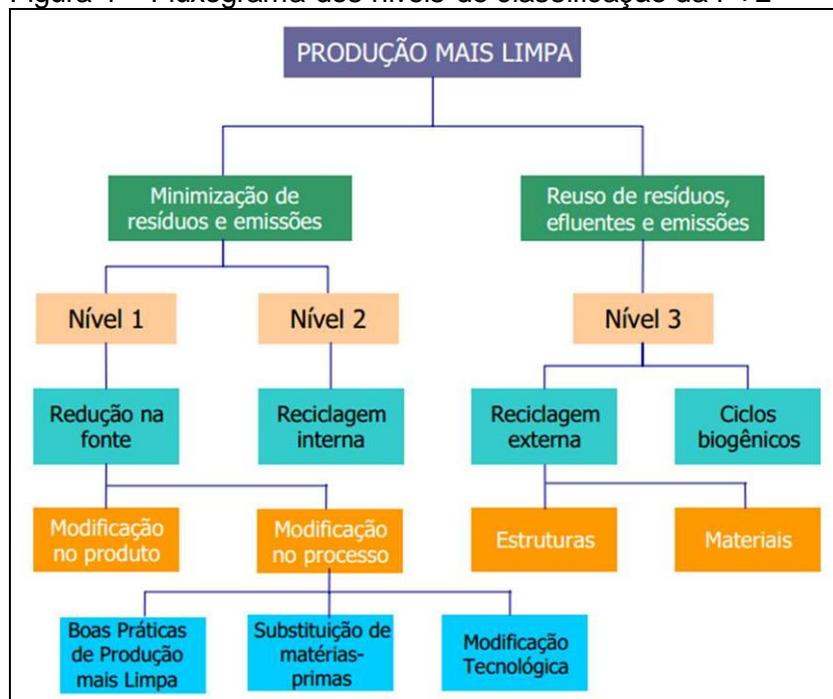
A reciclagem e o reuso são considerados como uma maneira de resolver os problemas criados pelas limitações em se dar uma destinação adequada aos resíduos sólidos e aos efluentes líquidos gerados (AISSE et al, 2006). Segundo Casagrande et al (2008), seguir apenas os padrões mínimos expressos na legislação ambiental não é considerado suficiente para manter vantagens competitivas, sobretudo no mercado externo.

Contudo, relacionando resíduos com oportunidades de negócios para uma empresa, Donaire (1999) cita a reciclagem de materiais, seja esta interna ou externamente, que tem trazido uma grande economia de recursos e a minimização de impactos ambientais. A reciclagem é o processo de transformação de um resíduo, alterando suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010).

Muitas pesquisas estão demonstrando a importância da reciclagem de resíduos industriais na proteção ambiental e no desenvolvimento tecnológico (CASAGRANDE et al, 2008). Um diferencial, que inclusive contribui com o desenvolvimento sustentável, é a implementação de projetos de produção mais limpa.

A produção mais limpa (P+L) pode ser classificada em três níveis, como ilustrado no fluxograma da Figura 1. A P+L, segundo CNTL/SENAI-RS (2003), é caracterizada por ações que privilegiem o Nível 1 como prioritárias, seguidas do Nível 2 e Nível 3, nesta ordem.

Figura 1 – Fluxograma dos níveis de classificação da P+L



Fonte: CNTL/SENAI-RS, 2003

Várias indústrias do setor de revestimento cerâmico têm revisado seus processos a fim de minimizar suas emissões e resíduos, assim as próprias indústrias estão empregando subprodutos ou resíduos de outros processos em suas composições (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

Realização

Apoio Acadêmico



Na indústria cerâmica, a utilização de resíduos, tais como o lodo cerâmico proveniente das estações tratamento de efluentes (ETEs), se dá para a substituição de uma ou mais matérias-primas da composição original do produto, mantendo-se o processo de produção igual ao convencionalmente utilizado, com o intuito de que as propriedades do produto se mantenham (SCARINCI et al, 2000 apud CASAGRANDE et al, 2008).

Segundo Nandi et al (2012), o lodo cerâmico pode ser empregado na formulação de fritas e massas cerâmicas. Os autores Troes Velho e Bernardin (2011) usaram lodo proveniente da lavagem do piso do setor de esmaltação para introdução na formulação de engobe. A introdução de resíduos em engobe também pode ser visualizada no trabalho realizado por Oliveira (2005), que utilizou esmalte de sobra. Ainda, no trabalho de Brida (2008), ocorreu o uso de resíduos do setor de esmaltes na diluição de engobes. E Mondo (2008) desenvolveu um esmalte a partir de rejeito da ETE, mais especificamente com a raspa recolhida do filtro prensa após tratamento.

Neste estudo, foi reciclado o lodo cerâmico formado após o tratamento de efluente de um colorífico cerâmico, desenvolvendo-se um projeto de produção mais limpa, o qual visa a valorização ambiental de resíduos, a minimização de resíduos gerados nesta organização e a redução da utilização de recursos naturais como matérias-primas e insumos. Este projeto contribui ainda mais com o desenvolvimento sustentável da empresa, visto que a mesma já trabalha com reuso interno da água, tratamento de emissões atmosféricas e de efluentes, entre outros.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um projeto de produção mais limpa por meio da reciclagem interna de um resíduo denominado lodo cerâmico, gerado em uma estação de tratamento de efluente de um colorífico cerâmico. Para tanto, como objetivos específicos, tem-se: definir o tratamento de efluente mais adequado para formação do lodo cerâmico; realizar teste piloto comprovando se o lodo consegue trabalhar adequadamente no equipamento que transformará o resíduo em um insumo para a indústria, e desenvolver produtos cerâmicos utilizando o insumo reciclado, verificando a qualidade dos mesmos.

## 3. METODOLOGIA

O projeto consiste em diferentes etapas, a citar: (i) tratamento do efluente cerâmico, a fim de identificar o produto químico mais adequado para o tratamento e para a posterior utilização do lodo (resíduo) no processo de reciclagem; (ii) coleta de uma amostra de resíduo para teste de atomização, e (iii) desenvolvimento de produtos cerâmicos a partir do lodo cerâmico atomizado.

### 3.1 Tratamento do efluente

A coleta do efluente foi realizada recolhendo amostras em diferentes momentos no ponto de entrada ao tanque de tratamento, a fim de obter uma amostra mais representativa. Este efluente era oriundo de processos e locais distintos, como de lavagem do chão do setor (onde são produzidos bases serigráficas, corantes peletizados, esmaltes e engobes), do atomizador e dos moinhos, bem como dos laboratórios da indústria.

Os ensaios foram realizados em laboratório com o efluente *in natura* utilizando coagulantes-floculantes comercializados no mercado local, a saber: policloreto de alumínio - PAC a 18%, sulfato de alumínio a 48% e composto a base de sulfato de alumínio com polímero não iônico a 10%. O equipamento para a realização destes testes se deu em *jar-test PoliControl Floc Control II*.

O processo de tratamento iniciou-se com a adição de diferentes produtos químicos nos distintos jarros de 1 L contendo efluente, com o auxílio de pipeta graduada e pipetador, em dosagens aplicadas de 0,5 mL, 1,0 mL e 1,5 mL. Ao mesmo tempo, iniciava-se a agitação do *jar-test* com rotação de 100 rpm durante um período de 2 min para ocorrer a homogeneização. Após

Realização



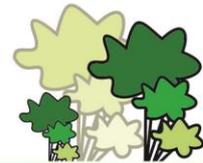
Apoio Acadêmico

ESCOLA  
Politécnica



Universidade de Brasília





o término da agitação, o efluente em tratamento foi alimentado na proveta, até a marcação predefinida de 1 L. Ao completar este volume com fluido, acionou-se o cronômetro para marcar o tempo de deslocamento da interface. O volume foi anotado em intervalos de tempo curtos de 1 min em função da variação rápida da interface, paralisando a observação periódica em 30 min.

Realizado isso, após 1 h, ou seja, 1 h e 30 min depois da etapa de agitação, removeu-se a água sobre o lodo e mediu-se a densidade e o tempo de escoamento do lodo decantado com o auxílio de picnômetro de vidro e viscosímetro *Cup Ford* respectivamente, bem como o pH e a turbidez da água clarificada com o auxílio de pHmetro de fita colorimétrica e turbidímetro AP-2000 *PoliControl*. A quantificação do volume do lodo sedimentado também foi identificada. Estes parâmetros têm como intuito avaliar a eficiência do tratamento físico-químico.

Por fim, usaram-se os dados obtidos nos ensaios e construíram-se gráficos para traçar as curvas de sedimentação, por meio dos dados de volume da interface medida na proveta (queda) e de tempo de deslocamento. Sendo, assim, possível identificar qual dos produtos utilizados teve maior eficiência com relação à sedimentação e à clarificação, visando contribuir com o projeto de reciclagem interna do resíduo, como também para o reuso interno da água.

É importante comentar que foram realizados testes de tratamento de efluente visando determinar um tratamento mais adequado devido ao tratamento atual utilizado pela empresa não ser eficiente com o uso de um coagulante a base de sulfato e policloreto de alumínio. No entanto, independente do produto mais eficaz no tratamento, realizou-se o teste piloto de atomização após o tratamento atualmente realizado pela empresa.

### 3.2 Atomização do resíduo: lodo cerâmico

O processo de atomização se deu utilizando o lodo decantado no tanque da ETE após o tratamento comum aplicado pela empresa, ou seja, com o uso do coagulante a base de sulfato e policloreto de alumínio. Os testes com outros produtos foram realizados com o intuito de melhorar o processo de reciclagem no momento de implantação do projeto pela empresa.

A coleta do resíduo, caracterizado como semissólido pela ABNT NBR 10004/2004, foi feita logo após a agitação do lodo cerâmico sedimentado no interior do tanque da ETE com o auxílio das pás presentes no mesmo para obter a melhor mistura possível. Assim, coletou-se uma amostra homogênea conforme ABNT NBR 10007/2004 de, aproximadamente, 3000 L para realização do teste de atomização. Esta remoção do interior do tanque se deu por meio da bomba de sucção, utilizada na ETE para direcionamento do lodo decantado ao filtro prensa, a qual bombeou o lodo até *containers* de 1000 L, passando por peneira para reter resíduos grosseiros, e levadas a uma vasca de agitação. Antes da disposição em vasca, a amostra passou por uma segunda etapa de peneiramento em malha com abertura de 100 *mesh*, a fim de reter partículas maiores que poderiam prejudicar o processo de atomização. A agitação do lodo, neste caso, é essencial, uma vez que, sem a submissão a um gradiente de velocidade, o lodo tende a aumentar a viscosidade, dificultando o escoamento.

A densidade e o tempo de escoamento deste lodo decantado e usado no sistema aqui explicitado foram analisadas no laboratório da empresa por meio de picnômetro de metal e viscosímetro tipo *Cup Ford*, ambos de 100 mL. Ambos os parâmetros são essenciais para o bom funcionamento do equipamento da empresa, responsável pela atomização.

O processo de reciclagem consiste em transformar um resíduo em um novo material, neste caso transformar fisicamente o lodo cerâmico (semissólido) em um insumo sólido para a produção de novos produtos. O equipamento responsável por este processo é o atomizador, conhecido como *spray dryer* (secador por aspersão), o qual converte fluido em material em estado sólido. Vale citar que, anexo ao atomizador, há filtro manga para captação de material particulado gerado neste processo e despejo direto no envase, não ocorrendo perdas e geração de resíduos.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA  
Politécnica



lakis | Linha de Ambiente Construído  
Pesquisa e Sustentabilidade  
PAA | CDS | PAA | UAB



Por fim, visando caracterizar este insumo reciclado quanto as suas composições química e mineralógica, foram realizados ensaios por fluorescência e difração de raios X respectivamente.

A análise química por FRX foi realizada em espectrômetro (Axios Max Panalytical) no Centro de Tecnologia de Materiais (CTCmat/Senai). Esta amostra foi fundida na proporção de 1:10 (1 parte de amostra e 10 partes de tetraborato de lítio) em equipamento Vulcan Fusion Technology. No entanto, antes disso, parte da amostra foi submetida à calcinação a 1000 °C para determinação dos percentuais de perda ao fogo.

E a determinação das fases cristalinas presentes foi realizada em difratômetro de raios X (Shimadzu/XRD-6000), com varredura realizada entre 10 a 80 °, velocidade de 2 °/min, voltagem de 30 kV, corrente de 30 mA e comprimento de onda Cu K- $\alpha$ 1  $\lambda=1,5406$  Å. Este ensaio ocorreu no Laboratório de Caracterização de Materiais do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) da Unesc.

### 3.3 Desenvolvimento de produtos utilizando lodo atomizado

Os ensaios citados a seguir foram realizados no laboratório de controle de qualidade da empresa. A definição se deu em função da característica do material cerâmico e da frequência de produção, desenvolvendo os produtos engobe e frita cerâmica com o insumo oriundo do resíduo.

Em engobe, os testes foram realizados com a introdução de percentuais de 0,5%, 1% e 5%. Nas fritas cerâmicas, os percentuais inseridos foram 2 e 4%.

Realizada a dosagem adequada de matérias primas para ambos os produtos, com e sem a introdução do lodo reciclado, efetuou-se as etapas de moagem em moinho excêntrico com esferas de alta alumina para o engobe e de mistura em misturador de escala laboratorial para as fritas.

Com o material moído e, conseqüentemente, o engobe já formado, realizou-se análises de densidade e tempo de escoamento utilizando picnômetro de metal e viscosímetro de orifício (*Cup Ford*), ambos de 100 mL. Vale destacar que densidade da amostra teste tem que ser similar a da amostra padrão da empresa. Ambos os produtos formulados foram aplicados na base cerâmica com o auxílio de *binel*, paralelos ao padrão, também aplicado.

Com relação às fritas, os ensaios piloto foram realizados em um mini forno teste da empresa, a uma temperatura aproximada de 1200 °C. No entanto, neste caso, para testar se é possível a utilização das fritas com 2% e 4% de lodo atomizado, formulou-se esmaltes, sendo um para cada percentual testado. Esta mistura foi levada ao moinho excêntrico. O mesmo procedimento foi realizado com a frita padrão. Ambos os esmaltes teste formulados foram aplicados na base cerâmica engobada com o auxílio de *binel*, paralelos ao padrão aplicado.

Por fim, com o engobe e o esmalte (contendo frita cerâmica) já aplicados em peças cerâmicas, os pisos foram levados ao forno, com temperatura de 1170 °C e duração de 38 min para a peça com engobe e, para a peça com esmalte, a uma temperatura de 1200 °C durante um período de 38 min. Após a queima, foi possível visualizar se a qualidade do produto final permaneceu, mesmo usando o lodo da ETE atomizado. Vale citar que a peça engobada ainda recebeu a aplicação de um esmalte.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a respectiva discussão a respeito dos mesmos está também dividida em etapas como na metodologia, sendo (i) tratamento do efluente, (ii) reciclagem interna do resíduo por atomização do lodo cerâmico e (iii) desenvolvimento de produtos cerâmicos.

### 4.1 Tratamento do efluente

De início, foram analisados pH, turbidez, densidade e tempo de escoamento do efluente *in natura*, apresentando resultados de 9,0, 1053 NTU, 1,26 g/mL e 10,60 s respectivamente.

O primeiro teste de tratamento foi feito com o coagulante policloreto de alumínio, bastante

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA  
Politécnica



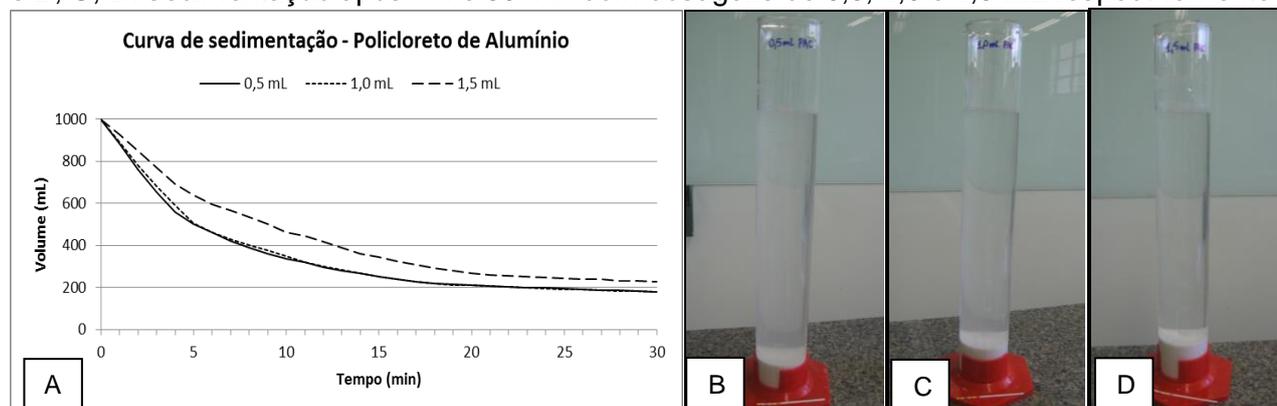
Universidade de Brasília





conhecido como PAC, este se encontra a uma concentração de 18%. A curva de deslocamento da sedimentação em função do tempo para cada dosagem usada está na Figura 2.

Figura 2 – Eficiência do tratamento com policloreto de alumínio, sendo A: curva de sedimentação e B, C, D: sedimentação após 1 h e 30 min com dosagens de 0,5, 1,0 e 1,5 mL respectivamente



Pode-se constatar que à medida que se adiciona mais produto, consegue-se um tratamento mais eficiente no que diz respeito à quantidade de lodo gerada, que é maior, e à clarificação da água, que tende a ficar mais transparente.

Analisando novamente o gráfico acima, percebe-se que os tratamentos com dosagens de 0,5 mL e 1,0 mL apresentaram uma sedimentação mais rápida quando comparados com a adição de 1,5 mL, no entanto, geraram um volume menor de lodo, permitindo que partículas sólidas não fossem eficientemente removidas e permanecessem suspensas. Passado o tempo predeterminado de 1 h e 30 min após a adição do efluente em tratamento na proveta, verificou-se o pH e a turbidez da água. A densidade e o tempo de escoamento deste lodo também foram analisados. Todos os resultados destes parâmetros constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com policloreto de alumínio

Parâmetros					
Dosagem (mL)	pH	Turbidez da água (NTU)	Densidade do lodo (g/mL)	Tempo de escoamento (s)	Volume do lodo (mL)
0,5	8,0	38,8	1,53	11,74	120
1,0	7,5	21,7	1,46	11,56	190
1,5	7,0	15,7	1,46	11,44	210

Analisando os resultados obtidos, pode-se constatar que o tratamento removeu a turbidez do efluente em 96,32% com a adição de 0,5 mL de PAC, 97,94% com uso de 1,0 mL e 98,5% utilizando 1,5 mL. Em todos os casos apresentando boa eficiência, no entanto, com a adição de mais produto químico foi possível obter um volume maior de lodo, de até 21%, devido à remoção mais eficiente das partículas sólidas presentes na água que se sedimentaram.

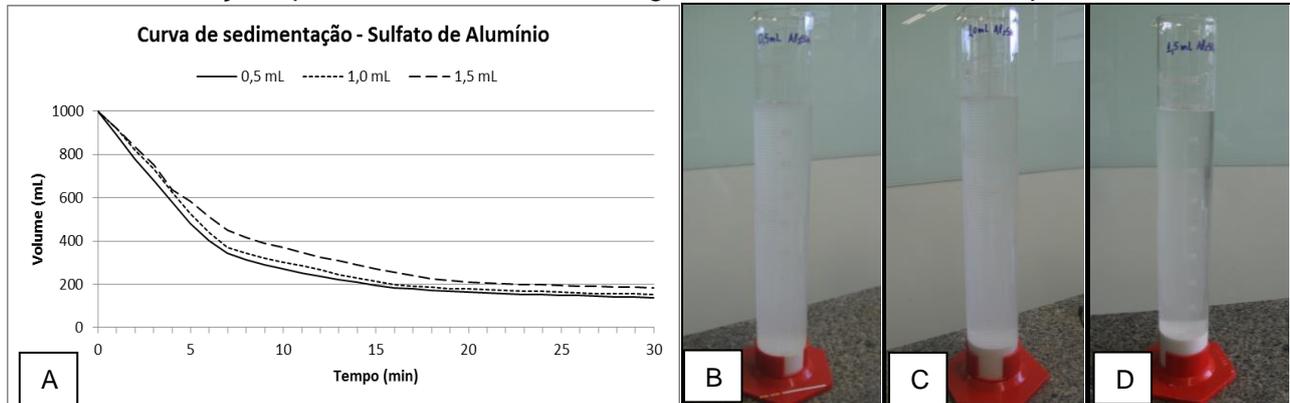
Além disso, foi possível verificar que a adição de PAC acarreta na baixa do pH, melhorando a faixa do mesmo e se aproximando do pH neutro (7,0). Em todos os casos, o valor de pH permaneceu dentro do limite estabelecido por legislações aplicáveis.

O segundo coagulante testado para tratamento do efluente cerâmico foi o sulfato de alumínio a 48%. Neste caso, também, à medida que se elevou a dosagem aplicada ao efluente, ocorreu uma maior clarificação da água sobre o lodo e um volume maior deste, visto que houve



uma remoção maior de sólidos suspensos. Estas afirmações podem ser constatadas por meio do gráfico da curva de sedimentação em 30 min e demonstração da situação em provetas (Figura 3).

Figura 3 – Eficiência do tratamento com sulfato de alumínio, sendo A: curva de sedimentação e B, C, D: sedimentação após 1 h e 30 min com dosagens de 0,5, 1,0 e 1,5 mL respectivamente



Neste caso, a curva de sedimentação entre as três dosagens introduzidas no efluente mostraram-se semelhantes, sendo que a quantidade de produto adicionada não influencia no tempo de deslocamento das partículas sólidas (sedimentação), como ocorreu com a adição de PAC a 1,5 mL/L. O que diferencia é só a clarificação e o volume de lodo, os quais não obtiveram diferenças tão expressivas nos resultados quando comparados com as três dosagens de PAC.

Com relação aos resultados após 1 h e 30 min do tratamento, tem-se a Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com sulfato de alumínio

Parâmetros					
Dosagem (mL)	pH	Turbidez da água (NTU)	Densidade do lodo (g/mL)	Tempo de escoamento (s)	Volume do lodo (mL)
0,5	8,0	68,3	1,54	11,18	100
1,0	7,0	29,6	1,50	11,06	110
1,5	7,0	27,5	1,49	11,56	130

Analisando os valores obtidos nos experimentos, averiguou-se que os ensaios realizados com adição das três diferentes dosagens apresentam remoção de 93,51%, 97,19% e 97,39% à medida que se adicionava mais sulfato de alumínio. Este coagulante, assim como o PAC, influenciou no pH, melhorando por meio da baixa, uma vez que se comporta como um acidificante, seguindo também os padrões estabelecidos pelas legislações pertinentes. Com o sulfato de alumínio pode-se obter entre 10 e 13% de lodo no efluente gerado, percentuais que indicam a perda de partículas sólidas entre a água quando comparado com o tratamento com uso de PAC.

Outro produto químico testado foi um composto fabricado também por uma empresa local, a base de sulfato de alumínio com polímero não iônico. A Figura 4 representa este experimento.

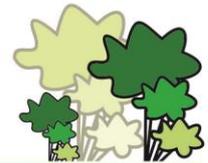
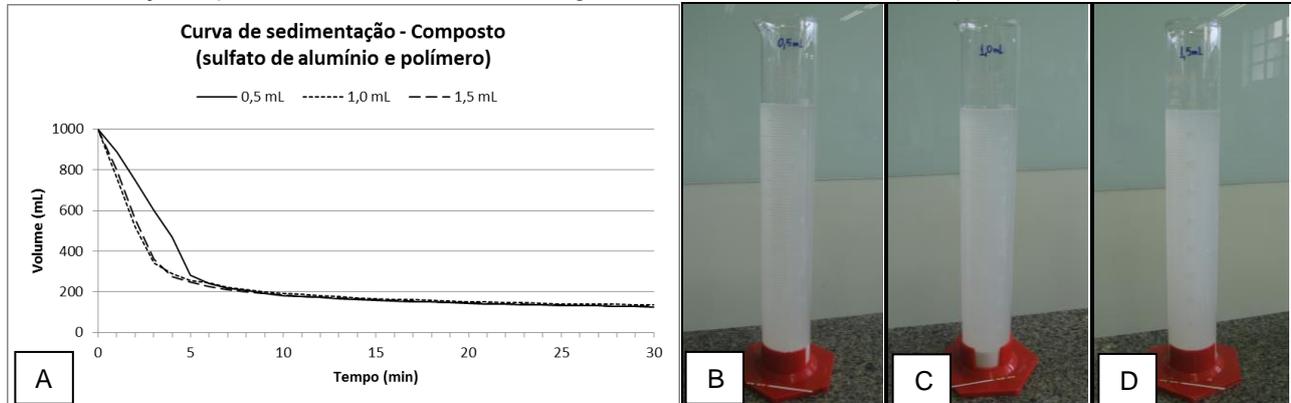


Figura 4 – Eficiência do tratamento com o composto, sendo A: curva de sedimentação e B, C, D: sedimentação após 1 h e 30 min com dosagens de 0,5, 1,0 e 1,5 mL respectivamente.



Avaliando as curvas de sedimentação, pode-se constatar que, independente da dosagem adicionada, a sedimentação em função do tempo é bem similar. A curva referente à dosagem de 0,5 mL encontra-se diferenciada em seu início, entretanto, deve-se levar em consideração a grande dificuldade encontrada em realizar a leitura nos primeiros minutos, em virtude da interface formada. Além disso, cita-se que, em todos os testes, alcançou-se a estabilidade de sedimentação logo no início, quando comparadas com os demais produtos testados neste estudo.

Com a adição deste composto comercializado, percebe-se que à medida que se adiciona uma quantidade maior de produto químico, a água tende a ficar mais esbranquiçada, aumentando a turbidez da mesma, sendo que isso pode ser comprovado não só pela figura acima, como também pelos resultados demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com composto a base de sulfato de alumínio e polímero não iônico

Parâmetros					
Dosagem (mL)	pH	Turbidez da água (NTU)	Densidade do lodo (g/mL)	Tempo de escoamento (s)	Volume do lodo (mL)
0,5	8,5	205	1,36	11,62	90
1,0	8,5	207	1,38	12,06	95
1,5	8,5	241	1,37	11,88	90

Nos três ensaios com o composto, independente da dosagem, não houve sedimentação com eficiência, ou seja, o volume de lodo não foi superior a 9,5%. A água sobre este também não apresentou bons resultados com relação à turbidez, apresentando eficiência de sedimentação entre 77% e 81%, sendo menos eficiente que os coagulantes testados anteriormente. Este composto não influenciou significativamente no pH, variando de 9 (efluente *in natura*) para 8,5.

Em todos os experimentos realizados, no intervalo de observação de 30 min, a sedimentação já encontrava estabilidade com relação ao valor do volume de lodo no fundo da proveta. Ou seja, em apenas 30 min é possível realizar o tratamento e, se preferível, início do esvaziamento do tanque para reaproveitamento da água e reciclagem do lodo.

O tempo de escoamento dos lodos analisados se assemelhou bastante, já a densidade teve algumas variações, nada muito extraordinário. Vale destacar que uma dificuldade encontrada, e que talvez tenha interferido no seu real valor, foi a remoção da água sobre o lodo sedimentado em todos os experimentos, fato este que pode ter alterado um pouco os resultados



de tempo de escoamento e, principalmente, densidade. Devido a esta ocorrência, os resultados de tempo de escoamento e densidade não foram explorados.

Relacionando os tratamentos realizados com os três produtos químicos testados, constata-se que o PAC foi o coagulante mais eficiente no que tange à decantação do lodo para posterior reciclagem do mesmo e à clarificação da água para o reuso interno da empresa. Com a definição do produto químico mais eficaz por meio dos ensaios laboratoriais, sugere-se o uso deste no caso de implantação deste projeto de reciclagem interna pela empresa.

#### 4.2 Atomização do resíduo: lodo cerâmico

O lodo cerâmico coletado no tanque após o tratamento atual da empresa apresentou densidade de 1,49 g/mL e tempo de escoamento de 19 s, estando, estas características físicas, dentro da faixa de trabalho do equipamento atomizador.

Considerando a composição química e mineralógica do resíduo lodo cerâmico, uma alternativa é a produção de fritas para a composição de engobes e esmaltes (SCARINCI et al, 2000 apud NANDI et al, 2012), contribuindo com a não extração de matérias-primas cerâmicas no meio ambiente.

Portanto, o lodo cerâmico foi atomizado com o intuito de se ter um insumo para a produção de produtos cerâmicos em virtude de este resíduo apresentar-se semelhante a composições das matérias-primas de tais produtos, como fritas, esmaltes e engobes. Isso, principalmente, pelo fato de o lodo cerâmico ser formado após o tratamento do efluente oriundo do setor de fabricação de bases serigráficas, esmaltes e engobes.

Depois de atomizado, o insumo reciclado foi armazenado em *big bags*. A atomização dos 3000 L acarretou em 2315 kg de lodo atomizado aproximadamente.

Analisando os resultados do ensaio por DRX, pode-se identificar a presença das fases mineralógicas: quartzo, albita, calcita, coríndon, caulinita e ortoclásio, identificando a presença de fases cristalinas comuns em matérias-primas cerâmicas.

Com relação à análise por FRX, identificaram-se como principais os óxidos de silício (50,60%), alumínio (18,21%) e cálcio (11,36%). Além disso, em percentuais menores, têm-se os óxidos de zinco, sódio, magnésio, zircônio, potássio e bário. A perda ao fogo foi de 5%. Os óxidos de cálcio, sódio e potássio são provenientes dos feldspatos. O óxido de cálcio também é decorrente da presença de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), assim como a perda ao fogo. O alto percentual de óxido de silício é devido à presença dos diferentes feldspatos e quartzo. O pequeno percentual de óxido de alumínio é identificado no difratograma como a fase coríndon.

#### 4.3 Desenvolvimento de produtos utilizando lodo atomizado

Em função de o lodo gerado não ser em grande quantidade, não é necessário e nem viável desenvolver uma formulação nova de engobe ou frita cerâmica especialmente para uso deste lodo atomizado. Por isso, o mesmo foi diluído (acréscimo de percentuais menores) na formulação destes, com o intuito de dar um fim ambientalmente adequado, sem custos com a disposição em aterro sanitário, gerando menos impactos ambientais e praticando um dos níveis de P+L.

Os primeiros experimentos para o desenvolvimento de engobe foram realizados simultaneamente com um acréscimo de 5% e 1% de lodo atomizado na formulação. Percebeu-se que o engobe com a formulação de 1% de insumo reciclado ficou melhor que o de 5%, entretanto, não ficou com a qualidade aprovada para produção em escala industrial. Portanto, realizou-se outro teste, com percentual de 0,5% do insumo fabricado. Após o processo de queima foi possível aprovar o engobe com uso de 0,5% de lodo reciclado para produção constante.

A frita cerâmica predeterminada foi a de tipologia opaca para utilização em engobe, uma vez que como o efluente provém do setor de fabricação de bases e esmaltes e é onde o zircônio é bastante utilizado. Este é considerado como um opacificante cerâmico, o qual dá o aspecto de

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA  
Politécnica





opacidade. Realizada a queima da peça esmalta, contendo frita na formulação do esmalte, pôde-se constatar visualmente, com o auxílio dos técnicos da empresa, que a frita com acréscimo de até 4% de lodo atomizado foi aprovada, podendo ser utilizada para escala de produção industrial.

Com relação à viabilidade econômica, considerando que a produtividade mensal da frita com tipologia opaca para engobe, que foi reformulada com acréscimo de 4%, era de 100 t, a redução de custo anual desta frita com o uso do lodo reciclado é de R\$ 23.040,00 por ano. Já o uso de 0,5% do insumo reciclado em engobe para porcelanato acarretará numa economia anual de R\$ 4.650,00, visto que a produtividade mensal deste produto era de 50 t. Por fim, resulta-se em uma economia anual de R\$ 27.690,00, além de ser considerada como um projeto de P+L.

Além disso, não se pode deixar de considerar a disposição final deste resíduo em aterros industriais, que requer custo associado ao armazenamento, coleta, transporte e destinação final. Neste caso, não se conseguiu estes custos envolvidos, uma vez que não se tem a classificação do resíduo. No entanto, vale comentar que o custo para disposição final de resíduo classe I em aterros industriais é superior quando comparado com a classificação não perigosa (classe II).

## 5. CONCLUSÃO

A preocupação com relação à geração de resíduos sólidos, assim como efluentes líquidos e emissões atmosféricas, e, conseqüentemente, a alteração da qualidade dos recursos naturais, vêm recebendo destaque nos últimos anos, principalmente por órgãos fiscalizadores. Visando trabalhar com o problema de um de seus resíduos, a empresa em questão pode facilmente implantar o projeto de P+L aqui desenvolvido, uma vez que apresentou ótimos resultados.

Com relação ao tratamento físico-químico do efluente, constata-se que o produto mais eficiente no que diz respeito à clarificação da água e maior volume de lodo sedimentado é o PAC. O processo teste de atomização do lodo sedimentado demonstrou que é possível desenvolver reciclagem interna em uma indústria de colorífico cerâmico somente pelo processo de atomização, não necessariamente passando pelas etapas de filtro prensa e moagem, comumente desenvolvidas em indústrias cerâmicas. Este projeto diminui custos com a utilização destes equipamentos, assim como minimiza o período de processamento, ou seja, transformação do resíduo em insumo. Por fim, foram realizados ensaios na formulação de engobe e frita cerâmica com percentuais deste insumo já produzido, comprovando o uso do lodo reciclado em produtos fabricados pela indústria em questão, sem alterações na qualidade dos mesmos.

Vale destacar que o projeto de lodo, além de ser uma oportunidade de melhoria e cumprimento a legislações aplicáveis, é considerado como um projeto de valorização ambiental e de P+L com nível dois. Conclui-se que há minimização no uso de matérias-primas utilizadas (recursos naturais), cessação dos custos com a destinação ambientalmente adequada em aterro sanitário industrial do lodo cerâmico e redução de custos com a fabricação dos produtos formulados com o lodo reciclado. E, além de contribuir com a conservação do meio ambiente, não degradando o solo, a água e o ar, colabora com o não aumento da vida útil de aterros sanitários.

## REFERÊNCIAS

AISSE, M. M.; COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Reúso urbano e rural. In: SANTOS, M. de L. F. dos; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 111-154.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.004: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: 2004. 71 p.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA  
Politécnica



Universidade de Brasília





ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.007: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004. 25 p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12/02/1998; e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 03 ago. 2010.

BRIDA, F. de. Estudo das fontes de perdas do esmalte cerâmico e possíveis formas de reutilização. 2008. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação de Tecnologia em Cerâmica. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

CASAGRANDE, M. C.; et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. Cerâmica Industrial, v. 13, n. 1/2, p. 34-42, 2008.

CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Implementação de programas de produção mais limpa. Porto Alegre: SENAI/RS, 2003. 46 p.

DONAIRE, D.. Gestão ambiental na empresa. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 169 p

FURMANSKI, L. M. Diagnóstico ambiental em indústria de colorífico cerâmico com desenvolvimento de projeto referente à reciclagem interna do lodo da estação de tratamento de efluente. 2013. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

MONDO, T. S. Estudo para reaproveitamento de rejeito cerâmico na produção de esmaltes. 2008. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação de Tecnologia em Cerâmica. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

NANDI, V. de S.; et al. Caracterização de resíduo sólido de ETE da indústria cerâmica de revestimento. Cerâmica Industrial, v. 17, n. 2, p. 32-35, 2012.

OLIVEIRA, A. M. de. Reutilização de sobras de esmalte viabilizando a redução de custo e formulando engobes. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação de Tecnologia em Cerâmica. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

OLIVEIRA, A. P. N. de; HOTZA, D. Tecnologia de fabricação de revestimento cerâmicos. Florianópolis: UFSC, 2011. 118 p.

TROES VELHO, P. L.; BERNARDIN, A. M. Reaproveitamento de lodo de ETE para produção industrial de engobes. Cerâmica Industrial, v. 16, n. 2, p. 20-23, 2011.