

Avaliação da capacidade retentiva de metais tóxicos provenientes de indústrias de galvanoplastia utilizando matrizes cerâmicas

Evaluation of the retentive capacity of toxic metals from galvanoplasty industries using ceramic matrices

Evaluación de la capacidad retentiva de metales tóxicos de las industrias de galvanoplastia utilizando matrices cerâmicas

Recebido: 17/05/2020 | Revisado: 23/05/2020 | Aceito: 24/05/2020 | Publicado: 30/05/2020

Maria de Fátima Silva Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8190-9133>

Universidade Federal do Cariri, Brasil

E-mail: mariarodrigues125@gmail.com

Rebecca Veldhuis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2577-6441>

Universidade Federal do Cariri, Brasil

E-mail: rebecca.veldhuis@hotmail.com

Larissa Kerollaine Maia Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6957-8893>

Universidade Federal do Cariri, Brasil

E-mail: larissa.maia@ufca.edu.br

Jorge Marcell Coelho Menezes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9162-5142>

Universidade Federal do Cariri, Brasil

E-mail: jorge.menezes@ufca.edu.br

Raimundo Nonato Pereira Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2931-5087>

Universidade Regional do Cariri, Brasil

E-mail: raimundo.teixeira@urca.br

João Hermínio da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9518-3206>

Universidade Federal do Cariri, Brasil

Resumo

O uso de argilas na remoção de metais tóxicos presentes em corpos hídricos vem sendo testados por inúmeros pesquisadores. Todavia há uma necessidade de dar uma destinação a esse tipo de material após o seu uso como adsorvente. Uma opção para uma eficiente destinação deste material seria a incorporação dos mesmos na constituição das misturas argilosas constituintes de cerâmicas. Objetivou-se verificar a capacidade de remoção de íons metálicos Cu(II) e Ni(II) a partir de matrizes cerâmicas. Foram avaliadas a capacidade de retenção dos íons metálicos nas estruturas das cerâmicas e as propriedades mecânicas das mesmas após a incorporação do lodo galvânico e do efluente contaminado com os metais tóxicos. Estudos de lixiviação foram feitos sobre as peças cerâmicas para avaliar a possível liberação dos íons metálicos ao meio ambiente. Os resultados apresentados para os aspectos mecânicos das peças cerâmicas mostraram que a incorporação do lodo galvânico, bem como do efluente líquido não comprometeram as propriedades mecânicas de resistência das peças produzidas. Sobre os aspectos referentes à lixiviação os resultados mostraram que em determinadas condições não houve liberação de níquel ou cobre. Os resultados experimentais mostraram que a lixiviação em meio básico e no meio ácido, não houve liberação dos metais nas amostras umedecidas com o efluente, mas houve a liberação de níquel na concentração de 10% da amostra com lodo galvânico e a liberação de cobre nas concentrações de 6%, 8%, 10% das amostras com lodo galvânico. Em todos os ensaios não houve liberação dos dois íons em meio neutro.

Palavras-chave: Lodo galvânico; Cerâmica; Lixiviação.

Abstract

The use of clays to remove toxic metals present in water bodies has been tested by countless researchers. However, there is a need to give this type of material a destination after its use as an adsorbent. An option for an efficient destination of this material would be the incorporation of them in the constitution of the clay mixtures constituting ceramics. The objective was to verify the ability to remove Cu (II) and Ni (II) metal ions from ceramic matrices. The ability to retain metal ions in the structures of ceramics and their mechanical properties after the incorporation of galvanic sludge and effluent contaminated with toxic metals were evaluated. Leaching studies were carried out on the ceramic pieces to assess the

possible release of metal ions to the environment. The results presented for the mechanical aspects of the ceramic pieces showed that the incorporation of the galvanic sludge, as well as the liquid effluent, did not compromise the mechanical properties of resistance of the produced pieces. Regarding the aspects related to leaching, the results showed that under certain conditions nickel or copper will not be released. The experimental results showed that leaching in basic and acidic media, there was no release of metals in samples moistened with effluent, but there was a release of nickel in the concentration of 10% of the sample with galvanic sludge and the release of copper in concentrations 6%, 8%, 10% of the samples with galvanic sludge. In all tests, there was no release of the two ions in neutral medium.

Keywords: Galvanic sludge; Ceramics; Leaching.

Resumen

El uso de arcillas para eliminar metales tóxicos presentes en cuerpos de agua ha sido probado por innumerables investigadores. Sin embargo, es necesario darle un destino a este tipo de material después de su uso como adsorbente. Una opción para un destino eficiente de este material sería la incorporación de ellos en la constitución de las mezclas de arcilla que constituyen la cerámica. El objetivo era verificar la capacidad de eliminar iones metálicos de Cu (II) y Ni (II) de las matrices cerámicas. Se evaluó la capacidad de retener iones metálicos en las estructuras de cerámica y sus propiedades mecánicas después de la incorporación de lodos galvánicos y efluentes contaminados con metales tóxicos. Se llevaron a cabo estudios de lixiviación en las piezas de cerámica para evaluar la posible liberación de iones metálicos al medio ambiente. Los resultados presentados para los aspectos mecánicos de las piezas cerámicas mostraron que la incorporación del lodo galvánico, así como el efluente líquido, no comprometía las propiedades mecánicas de resistencia de las piezas producidas. Con respecto a los aspectos relacionados con la lixiviación, los resultados mostraron que, bajo ciertas condiciones, no se liberará níquel o cobre. Los resultados experimentales mostraron que la lixiviación en medios básicos y ácidos no liberaba metales en las muestras humedecidas con el efluente, pero sí liberaba níquel en la concentración del 10% de la muestra con lodo galvánico y liberaba cobre en las concentraciones. 6%, 8%, 10% de las muestras con lodo galvánico. En todas las pruebas, no hubo liberación de los dos iones en medio neutro.

Palabras clave: Lodos galvánicos; Cerámica; Lixiviación.

1. Introdução

Nos processos galvânicos utilizam-se uma grande quantidade de água nos banhos químicos para folheamento de joias. Muitos metais são dissolvidos nestes banhos formando um efluente rico em íons metálicos. O método mais utilizado para o tratamento de efluentes da indústria galvânica é o de precipitação química por agentes alcalinos (Liu et al., 2016). Tal método é eficaz do ponto de vista de remoção de tais íons, todavia apresenta um problema, devido à grande quantidade de lodo galvânico que é gerado. Esses resíduos vêm se tornando um sério problema que a população moderna enfrenta. Seu descarte de forma inadequada provoca a degradação do meio ambiente contaminando mananciais de água e o solo.

Materiais argilosos, quando umedecidos, absorvem bastante quantidade de água em seus espaços interlamelares. Incorporado a esse incremento de água nas estruturas dos argilominerais pode ocorrer à incorporação de espécies químicas dissolvidas, como íons metálicos (Tirtom et al., 2012, Dawodu & Akpomie, 2014).

As argilas são materiais inorgânicos formados principalmente por um grupo de minerais que recebem o nome de argilominerais. Estes argilominerais são formados por microcristais de silicatos com estruturas em camadas, também denominados filossilicatos (Gomes 1988). A composição química elementar dos argilominerais é constituída dos elementos: oxigênio, silício, alumínio, ferro e potássio. Tal composição para o caso dos argilominerais influencia diretamente em suas propriedades físicas e mecânicas. Desta forma os argilominerais são agrupados de acordo com semelhanças em composição química e na estrutura cristalina. Os grupos são: clorita, ilita, paligorsquita-sepiolita, caulinita e esmectita (Coelho, 2007, Ll. Laursen et al. 2019, Maciel, et al., 2016; Moreno, et al., 2016; Oliveira Cotta, et al., 2016; Oliveira, et al., 2016).

As propriedades físicas e químicas dos argilominerais do grupo das esmectitas são controladas basicamente por tamanho de partícula, formato de partícula, substituições na rede cristalina e área superficial. Em relação à sua aplicação, as montmorilonitas possuem propriedades importantes como, por exemplo, a viscosidade, a tixotropia e a dispersabilidade. Algumas de suas utilizações são: catalisadores na indústria de cimento, agentes tixotrópicos em fluidos de perfuração de petróleo, aglomerantes na pelletização de minério de ferro e na indústria de tintas e cosméticos (Coelho et al., 2007).

Uma das principais propriedades das argilas é a sua plasticidade. Esta é a propriedade, que um sistema rígido possui de deformar-se, sem romper-se, pela aplicação de uma força (tensão) e de reter essa deformação quando a força aplicada é retirada. Se a combinação argila-água não se tornasse

adequadamente plástica, não seria possível confeccionar produtos modelados com o formato de tijolos, telhas e vasos (Santos, 1980).

A plasticidade das argilas úmidas é essencialmente resultante das forças de atração entre as partículas lamelares de argilominerais carregadas eletricamente e a ação lubrificante da água que existe entre partículas lamelares.

Além das argilas pode haver a incorporação de outros materiais cerâmicos para promover melhorias na qualidade do produto acabado. Poder ser adicionados materiais com propriedades anti-plásticas ou materiais fundentes. Os anti-plásticos reduzem o encolhimento das argilas quando submetidas a processos de secagem, enquanto que os fundentes baixam as temperaturas de vitrificação.

Neste contexto, o objetivo do presente artigo é apresentar os resultados do uso de matrizes argilosas, usadas na produção de tijolos e telhas, como possíveis meios de incorporação de lodo galvânico e efluentes líquidos de indústrias galvânicas contendo metais tóxicos.

Os estudos foram direcionados para uma avaliação da quantidade máxima permitida de incorporação de lodo galvânico e efluente líquido que não compromettesse as propriedades mecânicas dos artefatos cerâmicos produzidos bem como uma avaliação da capacidade retentiva sobre os íons metálicos a partir de teste de lixiviação em meio ácido, alcalino e neutro.

2. Metodologia

As pesquisas são realizadas com a finalidade de buscar novo ou novos saberes para a sociedade como preconiza Pereira et al. (2018) e para que tenham aceitação e validação pela comunidade acadêmica e científica torna-se necessário que possuam metodologias que apresentem o caminho dos experimentos e que permitam a reprodutibilidade. Na presente pesquisa, utilizam-se metodologias de natureza quantitativa.

Para execução do trabalho utilizou-se os efluentes gerados pela indústria de joias folheadas, soluções de lavagem das peças metálicas e lodo galvânico, bem como as argilas utilizadas nos processos de fabricação de cerâmicas. A metodologia foi dividida em pontos para facilitar a compreensão do processo realizado.

2.1. Obtenção das argilas e dos efluentes galvânicos

As argilas utilizadas foram obtidas na fábrica de tijolos e telhas, Cerâmica Gomes de Matos - CGM situada no município do Crato-CE. A composição das argilas seguiu o mesmo protocolo usado pela empresa na fabricação dos tijolos e telas. O lodo e o efluente galvânico foram obtidos de uma fábrica de joias folheadas situada no município de Juazeiro do Norte-CE.

2.2. Preparação dos corpos de prova

Para a fabricação dos corpos de prova realizou-se a moagem da argila vermelha, da areia e do lodo galvânico no moinho de bolas, fez-se esse procedimento no laboratório de cerâmica da Universidade Federal do Cariri – UFCA. Depois de moídas a matéria-prima foi peneirada (peneiras de 600 mm) fez-se as misturas com as proporções desejadas (argila, areia, resíduo galvânico e água), prepararam-se dois tipos de combinações para moldagem dos corpos de provas com suas respectivas concentrações. A introdução do lodo galvânico seco e moído à argila bruta misturada com areia seguiram as proporções de: 1%, 2%, 4%, 6%, 8% e 10% de lodo galvânico para 19%, 18%, 16%, 14%, 12% e 10% de areia respectivamente, utilizando somente água de torneira para umectação da massa. A introdução de efluente proveniente da lavagem das peças foi de: 1%, 2%, 4%, 8%, 10%, 15% e 20% para cada 99%, 98%, 96%, 92%, 90%, 85%, 80% de água da torneira utilizada para umedecer a mistura argila a 80% mais areia a 20%.

O processo de fabricação para os corpos de prova usando a argila vermelha e resíduos segue o seguinte passo a passo:

1º Preparação – molhar a argila com os resíduos utilizando 8% da massa total para a hidratação e em seguida laminar a mistura (seccionando uma mão na outra);

2º Processamento – colocar a argila na prensa aplicando carga de 1 tonelada, 3 toneladas e 4 toneladas por 1 minuto;

3º Secagem – as peças devem passar por um processo de secagem ao ar livre e sem contato direto com os raios solares por 5 dias;

4º Queima – a queima inicia com a temperatura de 100° C, chegando até 850° C, os corpos de prova foram retirados com temperatura de 40° C, esse processo teve duração de 8 horas, utilizaram-se os fornos da CGM.

As Figuras 1 e 2 mostram os corpos de provas antes e depois do processo de queima nos fornos da CGM.

Figura 1 – Corpos de prova pré-queima.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2 – Corpos de prova pós-queima.



Fonte: Dados da pesquisa.

Todos os corpos de prova foram queimados nas condições reais de produção dos tijolos e telas da CGM. O Processo apresentou um bom resultado com nenhuma peça trincada ou quebrada como vistos nas Figuras 1 e 2.

2.3. Ensaio mecânicos

Para a avaliação das propriedades físicas e químicas das peças fora realizados os seguintes ensaios:

2.3.1. Limite de plasticidade (LP)

É tido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço. É a umidade de transição entre os estados plásticos e semisólido do solo. É obtido é obtido determinando-se o teor de umidade no qual um cilindro de um solo com 3 mm de

diâmetro apresenta fissuras, seguindo a NBR-7180/ABNT – Determinação do limite de plasticidade de solos.

Índice de Plasticidade (IP) ajuda a definir a plasticidade da argila. É obtido através da diferença numérica entre o Limite de liquidez (LL) e o Limite de plasticidade (LP), ou seja:

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

O IP é expresso em porcentagem e pode ser interpretado, em função da massa de uma amostra. Índice de Plasticidade (IP) é obtido através da diferença numérica entre o Limite de liquidez, como a quantidade máxima de água que pode lhe ser adicionada, a partir de seu Limite de plasticidade, de modo que a argila mantenha a sua consistência plástica.

2.3.2. Limite de liquidez (LL).

É definido como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico. É a umidade de transição entre os estados líquidos e plásticos do solo. Para realização do teste de liquidez utilizou-se o aparelho de Casagrande (Figura 3).

Figura 3 – Aparelho Casagrande.



Fonte: Dados da pesquisa.

Experimentalmente corresponde ao teor de umidade com que o solo fecha certa ranhura sob o impacto de 25 golpes do aparelho. A NBR – 6459/ ABNT foi usada para determinação do limite de liquidez de solos.

2.3.3. Flexão

É utilizado para determinar as propriedades de Resistência à Flexão, Módulo de Elasticidade, Deformação sob Flexão, etc. Essas propriedades são importantes para o controle de qualidade e para avaliar o desempenho dos materiais plásticos quando submetidos a uma carga de flexão. Algumas normas técnicas utilizadas são: ASTM D790 e ISO 178.

2.4. Ensaio de lixiviação

O estudo de lixiviação foi feito a partir da imersão dos corpos de prova em três meios diferentes (ácido clorídrico de 0,001M, hidróxido de sódio de 0,001M e água deionizada) por 24 horas em agitação constante de 75 rpm utilizando-se uma mesa agitadora orbital.

Em seguida, realizou-se a análise dos líquidos provenientes da agitação, com o equipamento de espectroscopia de absorção atômica por chama, realizou-se todo esse ensaio na Central Analítica da Universidade Federal do Cariri.

2.5 Ensaio de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente

2.5.1 A Absorção de água é dada pela equação

$$AA (\%) = \left(\frac{Mu - Ms}{Mu} \right) * 100 \quad (2)$$

onde Mu é a massa do corpo de prova úmido hidratado por 24 h e Ms é a massa do corpo de prova após a queima.

2.5.2 A Porosidade aparente é dada pela equação

$$PA (\%) = \left(\frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \right) * 100 \quad (3)$$

onde Mu é a massa do corpo de prova úmida por hidratado por 24 h, Ms é a massa do corpo de prova após a queima e Mi é a massa do corpo de prova imerso em água.

2.5.3 A Densidade aparente é dada pela equação

$$DA (\%) = \left(\frac{Ms}{Mu - Mi} \right) * 100 \quad (4)$$

onde Mu é a massa do corpo de prova úmido saturado por 24 h, Ms é a massa do corpo de prova após a queima e Mi é a massa do corpo de prova imerso em água.

3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para cada experimento estão divididos como os tópicos explicados na metodologia.

3.1. Limite de liquidez

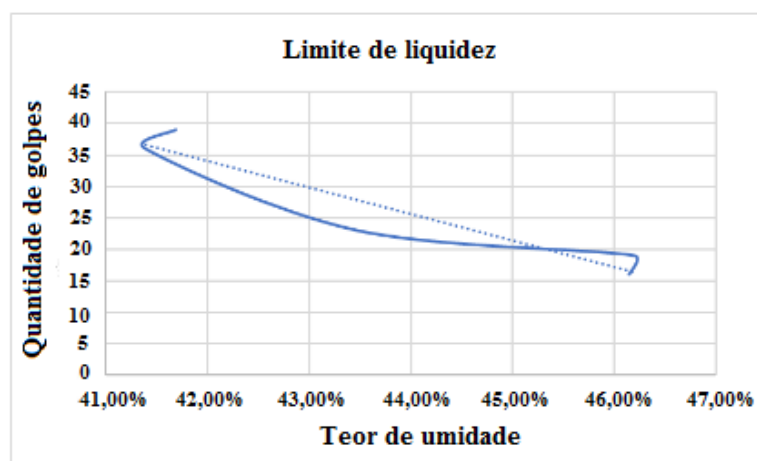
Obtendo o número de golpes e o teor de umidade construiu-se um gráfico relacionando ambos, realiza-se a interpolação de dados para que se obtenha o limite de liquidez referente a 25 golpes, as amostras foram preparadas segundo a NBR 6457/ABNT os resultados deste ensaio estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Limite de liquidez.

Nº AMOSTRA	MASSA DO RELÓGIO (g)	MU (RELÓGIO+ARGILA) (g)	MU (g)	MS (ARGILA+RELÓGIO) (g)	MS (g)	UMIDADE (%)	Nº DE GOLPES
1	30,875	35,776	4,901	34,334	3,459	41,69%	39
2	35,380	40,757	5,377	39,183	3,803	41,39%	36
3	37,503	43,338	5,835	41,57	4,067	43,47%	23
4	31,565	37,932	6,367	35,92	4,355	46,20%	19
5	34,388	45,602	11,214	42,061	7,673	46,15%	16
MÉDIA	33,9422	40,681	6,7388	38,6136	4,6714	43,78%	26,6

Fonte: Dados da pesquisa.

Gráfico 1 – Limite de liquidez.



Fonte: Dados da pesquisa.

Utilizando os valores de porcentagem de 41,39% e 43,47% de água e 23, 25 e 36 para o número de golpes para realizar a interpolação dos dados, apresentados na Tabela 1, o limite de liquidez encontrado foi de 43,15% para 25 golpes como mostrados no Gráfico 1.

3.2. Limite de plasticidade

A média dos valores de umidade encontrados é o limite de plasticidade, todas as amostras foram preparadas segundo a NBR 6457/ABNT. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Limite de plasticidade.

Nº AMOSTRA	MASSA DO RELÓGIO (g)	MU (RELÓGIO+ARGILA) (g)	MU (g)	MS (ARGILA+RELÓGIO) (g)	MS (g)	UMIDADE (%)
<u>1</u>	39,811	40,995	1,184	40,773	0,962	23,08%
<u>2</u>	54,091	55,383	1,292	55,108	1,017	27,04%
<u>3</u>	57,203	58,714	1,511	58,427	1,224	23,45%
<u>4</u>	34,423	35,631	1,208	35,393	0,97	24,54%
<u>5</u>	34,306	35,525	1,219	35,29	0,984	23,88%
MÉDIA	43,9668	45,2496	1,2828	44,9982	1,0314	24,40%

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao observar os valores da umidade, se verifica que a dispersão de dados foi grande para ambas as argilas, no entanto, não houve grandes alterações. O limite de plasticidade foi calculado realizando a média aritmética entre os cinco valores de umidade encontrados.

Podemos determinar o índice de plasticidade das amostras analisadas, utilizando-se a equação:

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

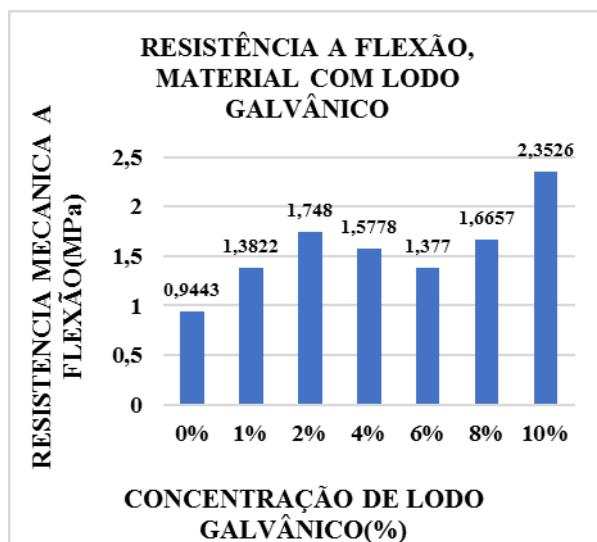
onde **IP** é o índice de plasticidade, **LL** é o limite de liquidez e **LP** significa o limite de plasticidade. Com os dados do ensaio analisado o **IP** foi de 18,75%.

Ao analisar o IP, as amostras foram classificadas como argilas inorgânicas de alta plasticidade. Com isso, como preconiza Caputo (1996), podemos inferir que se encontrou em uma matéria prima como argila inorgânica de mediana a alta plasticidade, as amostras analisadas são mais compressíveis.

3.3. Flexão

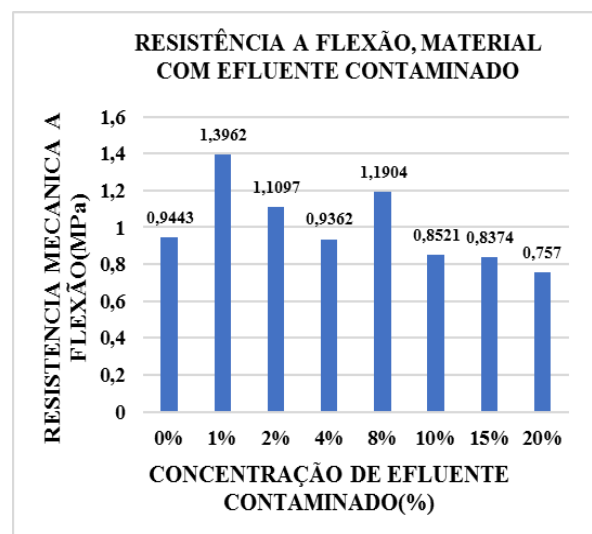
Realizou-se o ensaio de flexão, com a máquina de ensaio de três pontos, plotou-se os gráficos da amostra padrão em comparação com as amostras que continham lodo e efluente galvânico. Os resultado estão apresentados nos Gráficos 2 e 3, seguintes.

Gráfico 2 – Flexão lodo galvânico.



Fonte: Dados da pesquisa.

Gráfico 3 – Flexão efluente galvânico.



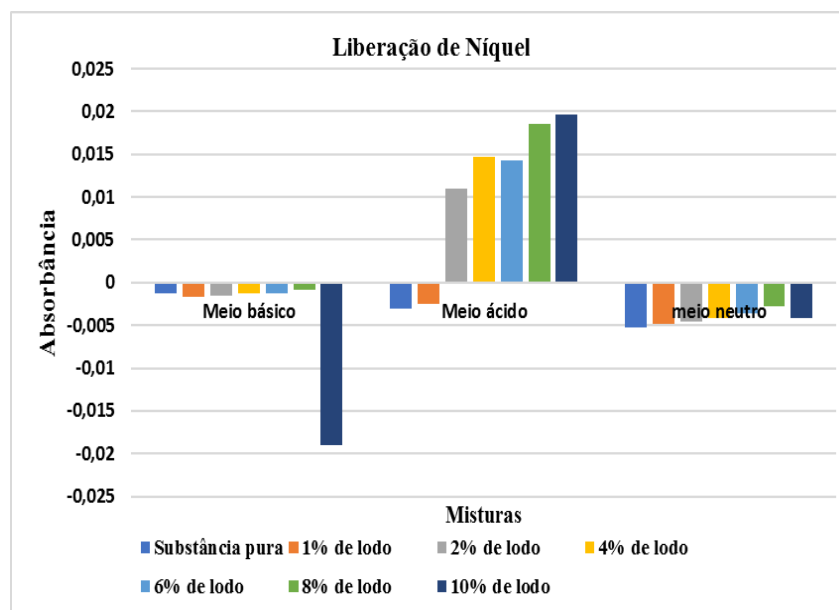
Fonte: Dados da pesquisa.

Com a introdução do lodo galvânico, observa-se por meio do Gráfico 2: um aumento significativo na resistência mecânica à flexão em todas as concentrações do material introduzido em relação à amostra pura (0%). Com a introdução do efluente galvânico há um aumento na resistência mecânica à flexão nas concentrações de 1%, 2% e 8%, nas concentrações seguintes há uma diminuição na resistência em relação ao material sem contaminantes.

3.4. Ensaio de lixiviação

Os resultados dos ensaios de lixiviação dos íons Ni(II) incorporados as peças cerâmicas estão apresentados nos Gráficos 4, 5 e os resultados de lixiviação para o íon Cu(II) estão apresentados nos Gráficos, 6 e 7.

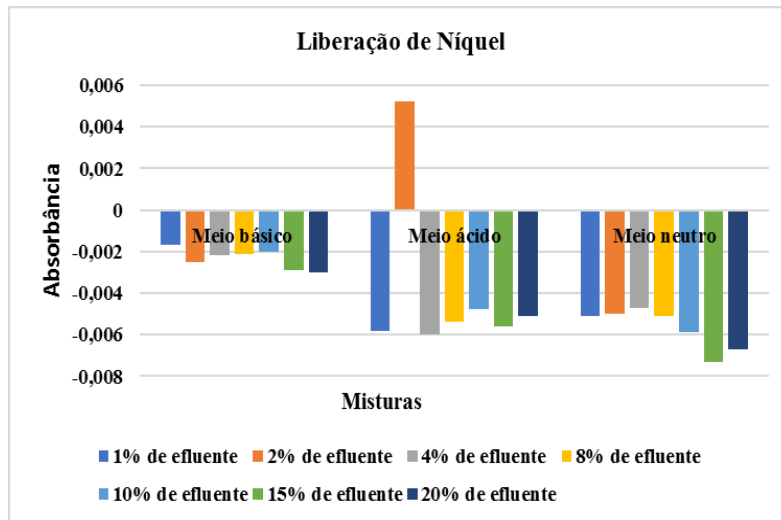
Gráfico 4 – Liberação de níquel após a lixiviação da peça formada com a adição de lodo galvânico utilizando meio básico, meio ácido e água destilada.



Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se no Gráfico 4 que ocorreu a liberação do níquel para solução quando o meio é ácido. Nos meios neutro e básico não houve liberação do metal para solução.

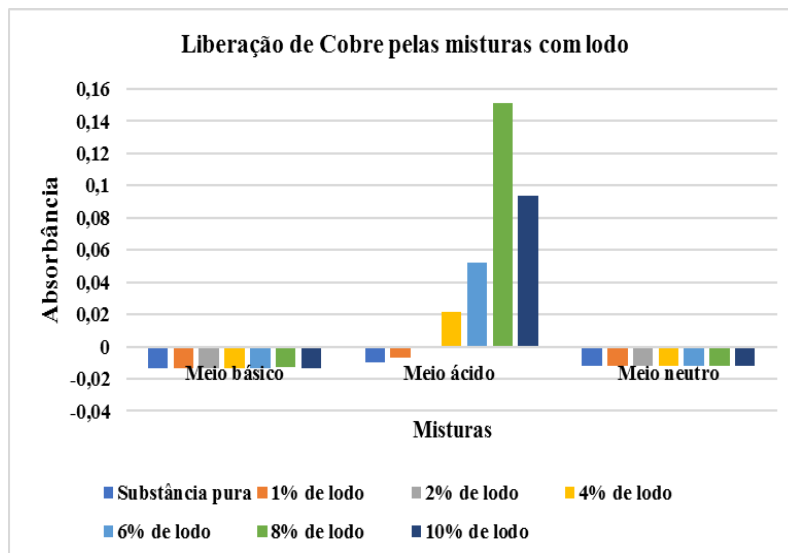
Gráfico 5 – Liberação de níquel após a lixiviação da peça formada pela adição de efluente galvânico utilizando meio básico, meio ácido e água destilada.



Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se no Gráfico 5 que ocorreu a liberação do níquel para solução em meio ácido apenas na peça feita com a adição de 2% de efluente galvânico. Nos meios neutro e básico não houve liberação do metal para solução.

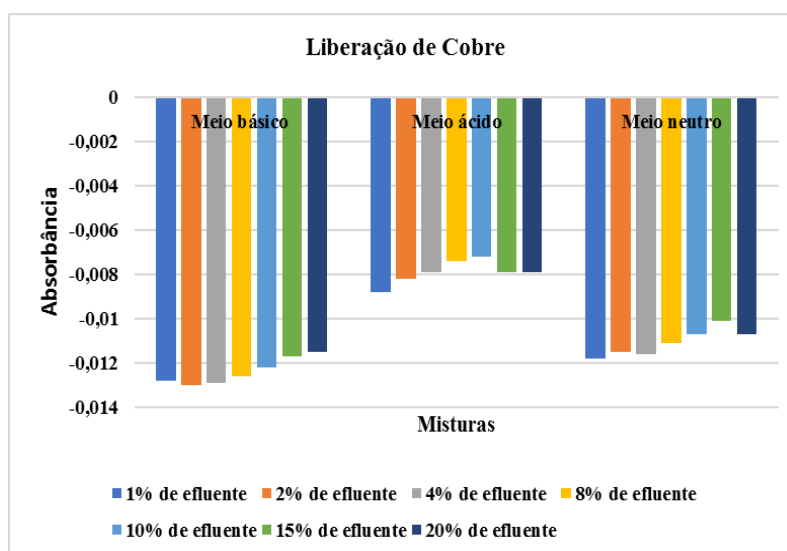
Gráfico 6 – Liberação de cobre após a lixiviação da peça formada com a adição de lodo galvânico utilizando meio básico, meio ácido e água destilada.



Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se no Gráfico 6 que ocorre a liberação do cobre para solução quando o meio é ácido, exceto para a concentração de 1% de lodo galvânico e no corpo de prova isento do metal. Nos meios neutro e básico não houve liberação do metal para solução.

Gráfico 7 – Liberação de cobre após a lixiviação da peça formada pela adição de efluente galvânico utilizando meio básico, meio ácido e água destilada.



Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se no Gráfico 7 que não houve liberação do metal para a solução após a lixiviação em nenhuma das condições experimentadas.

Pelos os resultados, podemos constatar que não houve liberação de níquel ou cobre em meio básico; no meio ácido, não houve liberação dos metais nas amostras com o efluente, mas houve a liberação de níquel na concentração de 10% da amostra com lodo galvânico e a liberação de cobre nas concentrações de 6%, 8%, 10% das amostras com lodo galvânico; não houve liberação de níquel ou cobre em meio neutro.

Os resultados dos ensaios de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente estão apresentados nos Gráficos 8 e 9 e nas Tabelas 3 e 4.

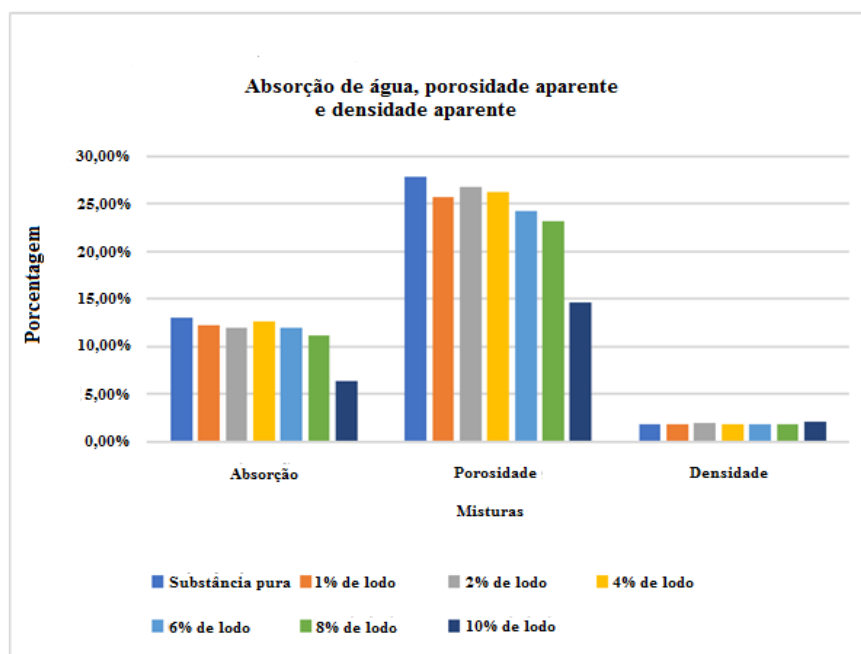
Tabela 3 – Absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente do lodo galvânico.

Mistura	Absorção	Porosidade	Densidade
Substância pura	13,04%	27,83%	1,86%
1% de lodo	12,30%	25,69%	1,83%
2% de lodo	11,97%	26,76%	1,97%
4% de lodo	12,70%	26,28%	1,81%
6% de lodo	11,96%	24,23%	1,82%
8% de lodo	11,21%	23,23%	1,85%
10% de lodo	6,44%	14,71%	2,14%

Fonte: Dados da pesquisa.

Foram feitas as médias das absorções de água, porosidade aparente e densidade aparente, das misturas da produção dos corpos de prova para o lodo, a produção idealizada é de 300 g para o conjunto e, as porcentagens de areia (19%, 18%, 16%, 14%, 12% e 10%) e pó (1%, 2%, 4%, 6%, 8% e 10%) variam, e a de argila será fixa em 80% (240 g), a água para hidratar a mistura corresponde a 8% da massa total da mistura, tendo o valor constante: 24 g.

Gráfico 8 - Absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente do lodo galvânico.



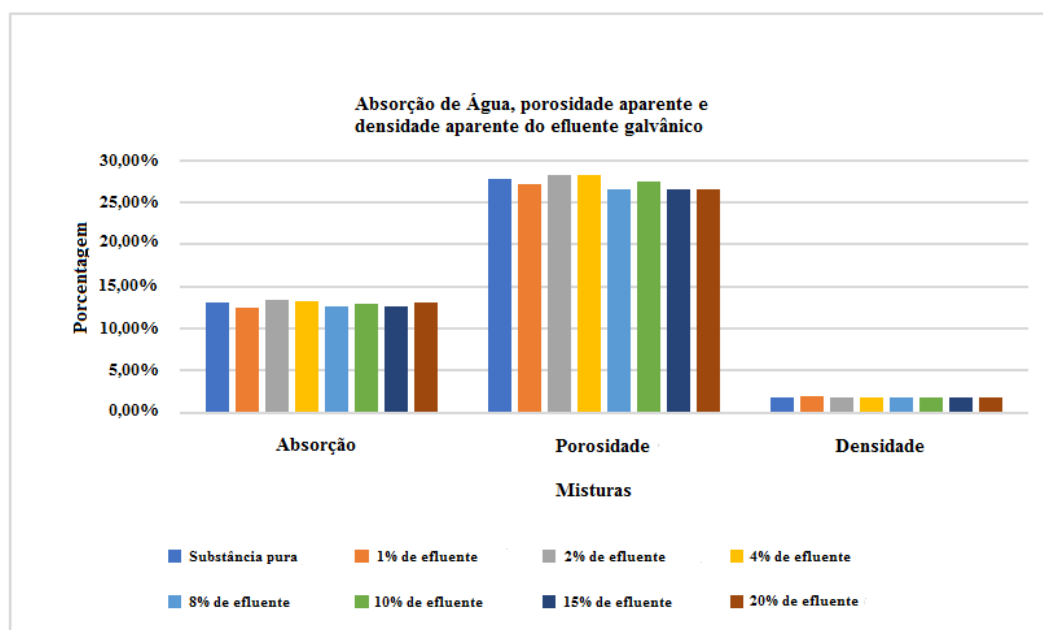
Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4 - Absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente do efluente galvânico.

Mistura	Absorção	Porosidade	Densidade
Substância pura	13,04%	27,83%	1,86%
1% de efluente	12,54%	27,22%	1,89%
2% de efluente	13,37%	28,26%	1,83%
4% de efluente	13,23%	28,31%	1,86%
8% de efluente	12,68%	26,54%	1,83%
10% de efluente	12,98%	27,57%	1,85%
15% de efluente	12,67%	26,51%	1,83%
20% de efluente	13,17%	26,63%	1,76%

Fonte: Dados da pesquisa.

Gráfico 9 – Absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente do efluente galvânico.



Fonte: Dados da pesquisa.

Verifica-se, a partir dos dados apresentados nas Tabelas 3 e 4 e nos Gráficos 8 e 9 que nas misturas com areia e lodo galvânico há uma relação inversamente proporcional no aumento da absorção de água para o aumento da concentração de lodo, ou seja, quanto maior a concentração de lodo menor é a absorção, já no efluente galvânico a absorção não sofreu

grandes variações, essas constatações também valem para a porosidade. Já a densidade não sofreu variações nem com a adição do lodo, nem com a adição do efluente.

4 Considerações Finais

Este trabalho teve por finalidade avaliar possíveis efeitos da utilização do efluente e lodo galvânico, em cerâmicas, com concentrações que mantenham a qualidade do produto cerâmico finalizado. Em seguida avaliar com o ensaio de lixiviação os possíveis riscos que esse material pode trazer ao ambiente, se liberado de alguma maneira, destinando esses resíduos das indústrias de galvanoplastia para utilização nas indústrias cerâmicas, reduzindo o descarte incorreto desse material altamente poluente por conter variados tipos de metais pesados. Concluiu-se com os resultados uma melhora significativa na resistência mecânica através do ensaio de flexão, pequenas liberações em meio ácido, redução da absorção de água na porosidade.

Com os estudos realizados conclui-se que a utilização do lodo galvânico é viável na incorporação do processo produtivo das cerâmicas. É um processo simples que inertiza os metais tóxicos, não havendo custos a mais no processo. Além de ser benéfico ao meio ambiente, pois se dá um destino correto ao lodo, reciclando-o, e não se corre o risco de contaminação.

Assim, percebe-se que muitos estudos ainda podem ser realizados para verificação da viabilidade da incorporação de efluentes contaminados por metais tóxicos em matrizes cerâmicas. Acreditamos que outros metais podem ser testados e será necessário realizar a caracterização por técnicas analíticas para compreender as características cristalográficas das peças formadas após a incorporação dos metais

Referências

ABNT. (1987). Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Lixiviação Resíduos: NBR 10.005*. Brasil: ABNT.

ABNT. (1987). Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e Métodos de Ensaio (descrição dos parâmetros dos ensaios): NBR 13.818/ISO 10545*. Brasil: ABNT.

ABNT. (1987). Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Resíduos Sólidos: NBR 10.004*. Brasil: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Solubilização Resíduos: NBR 10.006*. Brasil: ABNT, 1987.

Caputo HP. (1996). *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações (Fundamentos)*. Vol. 1, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Coelho ACV Santos P & Santos H. (2007). Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. *Química Nova*, 30(1): 146-95.

Dawodu FA & Akpomie KG. (2014). Simultaneous adsorption of Ni (II) and Mn (II) ions from aqueous solution onto a Nigerian kaolinite clay. *Journal of materials research and technology*, 3(2): 129-41.

Gomes SCF. (2002). Argilas aplicações na indústria. *O Liberal, Empresa de Artes Gráficas. Aveiro*. 337 p.

Gomes SCF. (1998). *As argilas: o que são e para que servem*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.

Liu C, Fiol N, Poch J & Villaescusa I. (2016). A new technology for the treatment of chromium electroplating wastewater based on biosorption. *Journal of Water Process Engineering*, 11(1): 143-51.

Laursen, A, Santana, LNL & Menezes, RR. (2019). Caracterização de argilas plásticas do Nordeste brasileiro. *Cerâmica*, 65(376): 578-84.

Maciel MGS. (2016). Adsorção de Íons de Metais Pesados, em Meio Aquoso, Utilizando a montmorilonita. (Dissertação de Mestrado). Curso de Mestrado em Química do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Roraima.

Moreno MMT, Roveri CD, Godoy LH & Zanardo A. (2016). Caracterização de argilas e composição de massas cerâmicas preparadas com base na análise de curvas de consistência de misturas argila-água. *Cerâmica*, 62(1): 21-31.

Oliveira Cotta JA & Castro Rodrigues M. (2020). Lead sorption study in weathered soils in its different fractions. *Research, Society and Development*, 9(4), 57942306.

Oliveira OMD, Crivelari RM, Munhóz Jr AH, Valenzuela Diaz MDG & Valenzuela Díaz FR. (2016). Estudo do comportamento dos índices de consistência de uma argila com a incorporação de resíduos de blocos cerâmicos queimados. *Anais Cebcimat*.

Pereira AS, Shitsuka DM, Parreira FJ & Shitsuka R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Acesso on: May, 23, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Tirtom VN, Dinçer A, Becerik S, Aydemir T & Çelik A. (2012). Comparative adsorption of Ni (II) and Cd (II) ions on epichlorohydrin crosslinked chitosan–clay composite beads in aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 197(1): 379-86.

Santos GM. (2010). Estudo das variáveis de processamento das matérias primas da região do Crato-Ce na fabricação de produtos cerâmicos por extrusão e por prensagem. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Maria de Fátima da Silva Rodrigues – 20%

Rebecca Veldhuis – 20%

Larissa Kerollaine Maia Gomes – 15%

Jorge Marcell Coelho Menezes – 15%

Raimundo Nonato Pereira Teixeira – 15%

João Hermínio da Silva – 15%