



IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ZINCO DO PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO A FOGO - CICLO CONTÍNUO

KLAUS KRAMER – klaus.kramer@edu.sc.senai.br
FACULDADES SENAI - SC

ANDERSON MARCINIACK- anderson.marciniack@hotmail.com
FACULDADES SENAI - SC

GILSON MARCINIACK - gilson_marciniack@estudante.sc.senai.br
FACULDADES SENAI - SC

KLINSMANN LIEBEL - klinsmann.143@gmail.com
FACULDADES SENAI - SC

MATHEUS GUSTAVO GOMES DE SIQUEIRA CAVALHEIRO -
ginete16@gmail.com
FACULDADES SENAI - SC

Resumo

Este artigo tem como objetivo realizar o estudo sobre a reutilização da cinza de zinco produzido na galvanização, produzida na superfície da cuba devido à oxidação do zinco, e as escórias da reação fluxo-zinco-ferro, que precisa ser retirada para não prejudicar o processo de galvanização. Com os aumentos do zinco e pensando na sustentabilidade e reciclagem, foi desenvolvido um forno com um cilindro rotativo que é aquecido através de queimador GN, para reaproveitamento do zinco a partir das suas cinzas. Foi elaborado um comparativo financeiro, visando mostrar as diferenças entre utilizar o forno de reciclagem de zinco e a venda desses resíduos. A partir das análises da cinza do zinco e do zinco reciclado pelo protótipo pode-se obter uma concentração de 40% Zn na cinza e uma pureza de 99,35% de Zn no processo de reciclagem, tornando-o ideal para a reutilização.

Palavras-chave: Galvanização. Forno. Cinza de zinco. Reaproveitamento.

1. INTRODUÇÃO

O processo de galvanização a fogo, é uma das técnicas mais utilizadas para proteger o aço contra a corrosão, por apresentar custo relativamente baixo e um alto poder anticorrosivo. A galvanização consiste em um revestimento metálico, onde o aço é mergulhado em um banho de zinco fundido, formando camadas de zinco sobre ele. Esse revestimento pode ser espesso ou fino, dependendo da norma solicitada como NBR 5580 ou NBR 5590, proporcionando uma proteção contra corrosão e um aspecto superficial brilhante.

Segundo ICZ (2010. p. 5) A galvanização, o revestimento do aço com zinco, é possivelmente o processo mais ecológico de prevenção contra a corrosão. A galvanização é o uso eficiente do zinco para proteger o aço por longos períodos, economizando recursos com o mínimo impacto para o meio ambiente. A galvanização permite a reutilização de todos os resíduos gerados no processo.

A galvanização é realizada para o material ficar mais resistente contra a corrosão e melhorar seu aspecto visual, de todos os processos anticorrosivos é o mais eficiente. Materiais galvanizados são utilizados em diversos lugares como por exemplo, construção civil, indústrias automobilísticas, brinquedos, aparelhos eletrônicos, móveis entre outros.

Considerando um grande aumento no preço do zinco e da demanda de peças galvanizadas, pode-se realizar a reciclagem dos resíduos de zinco gerados no processo de galvanização, de forma a tornar o processo de reciclagem mais barato e rentável que a venda desses resíduos. Para uma simples comparação, uma empresa, que vende 22 toneladas de cinza do zinco mensalmente, recebe 242 mil reais. Um forno de reciclagem das cinzas poderá recuperar 40% desse material do zinco presente nas cinzas, obtendo uma rentabilidade de R\$ 227.700,00. Somando a esse valor, há mais a venda do resíduo não reciclado, que é composto por óxido de zinco. Sendo assim, o processo de reciclagem da cinza de zinco se torna mais rentável que a simples venda dos resíduos.

2. PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO – CICLO CONTÍNUO

O processo de galvanização é um dos meios mais antigos usados para realizar uma aplicação de zinco sobre o aço para evitar a oxidação do material.

O Processo de galvanização a fogo, de forma contínua, pode ser dividido em 4 etapas, conforme ilustrado na figura 1.



Figura 1: Fluxograma etapas de galvanização. Fonte: autoria própria.

Antes do banho de zinco o material tem que passar por um processo de limpeza e fluxagem, para que seja retirado todo o tipo de óxido e resíduos que possam afetar e reagir no banho químico. Nesse processo, a primeira etapa realizada é o desengraxe das peças, para remoção de óleos, graxas e materiais orgânicos. É composto por uma solução alcalina quente, normalmente em uma temperatura de 85°C, com base em carbonatos, silicatos, hidróxidos, fosfatos, detergentes e outros. Caso haja tintas e vernizes sobre o metal é necessário um tratamento de solventes ou jateamento. Depois, as peças são mergulhadas em um tanque com apenas água, removendo os resíduos e o excesso do desengraxante. Após

isso, é necessário remover todos os óxidos presentes na superfície do material, utilizando uma solução de ácido clorídrico de 10 a 18% HCl (solução aquosa de cloreto de hidrogênio). Juntamente com uma concentração de 2% de inibidor para o ataque no ferro base. Repete-se então o processo de lavagem com água, para remover as partículas ácidas e outros resíduos. Então, realiza-se a fluxagem, que consistem em colocar o material em contato com uma camada de sal de fluxo fundido, formando assim uma película fina que dissolve os traços de sais e de óxido de ferro que estão na superfície do aço, ajudando na uniformidade da camada de zinco do tubo. O fluxo é geralmente composto por sais duplos de cloreto de Zinco e cloreto de amônio em concentrações de 14% em temperatura ambiente. Por último, antes do processo do banho de zinco, há a secagem.

Após todo esse processo inicial, realiza-se o banho de zinco, no qual as peças de aço entram em contato com o zinco em seu estado líquido que normalmente está entre 445° a 455°C. As peças são imersas na cuba de zinco, uma espécie de banheira revestida com material refratário. Um exemplo disso são tubos galvanizados por um processo automatizado, chamado de processo de rosca, mostrado na figura 2.

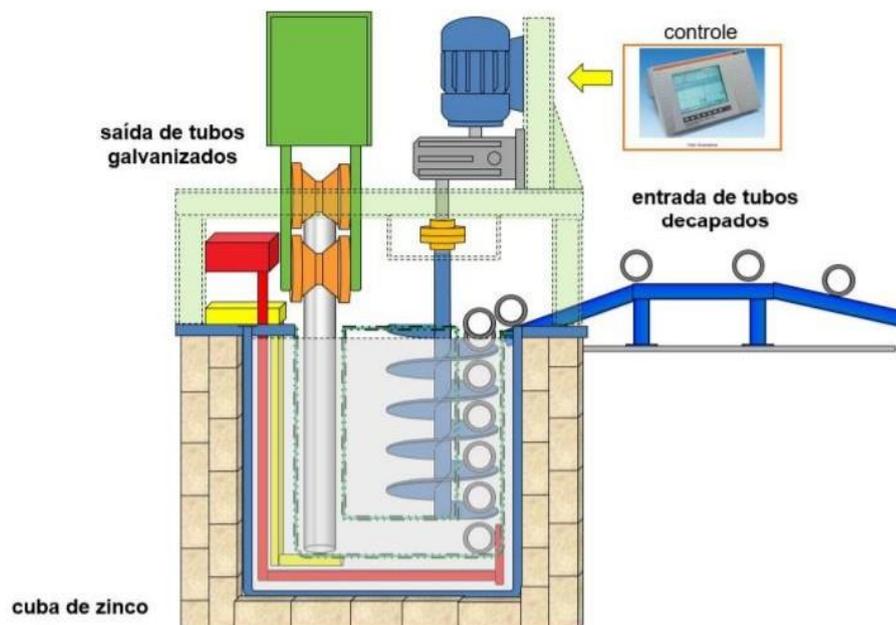


Figura 2: Processo de imersão de peças. Fonte: Da Cunha (2021).

Algumas considerações devem ser levadas em conta durante o processo de galvanização, como o tempo de imersão, velocidade, temperatura do banho, tempo de resfriamento e o tipo de zinco utilizado no processo, pois estes parâmetros afetam a camada de zinco criada. O aço galvanizado contém uma camada externa de zinco e uma camada intermediária de compostos intermetálicos (ligas, ferro, zinco e substrato de aço). Essas camadas estão mostradas na figura 3. As camadas gama, delta e zeta que são mais rígidas que o substrato de aço, essa consistência, realiza uma proteção contra danos no revestimento por abrasão, já a camada Eta é bem dúctil que dá ao revestimento certa resistência ao impacto, segundo ICZ (2016). Devido a essas diferenças de propriedades mecânicas, se o resfriamento, após o banho de zinco, seja rápido demais, ocorre o aparecimento de trincas, além de afetar o brilho do revestimento, por causa do aumento do grão da fase Fe-Zn. Caso a temperatura do banho seja alta demais, a camada de zinco fica espessa demais, além de depositar mais zinco na cuba e criar mais resíduos.

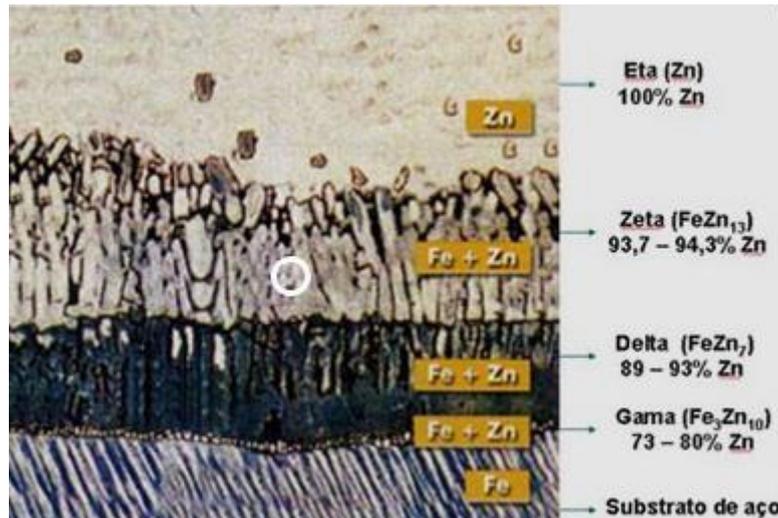


Figura 3: Camadas criadas durante a galvanização Fonte: ICZ (2016).

3. O ZINCO E OS RESÍDUOS DA GALVANIZAÇÃO

O zinco que é utilizado na galvanização atual, é o zinco SHG (Special High Grade), com teor de pureza de 99,995%, classe Z1 conforme norma europeia (BS EN 1179, 2003). Ele é também utilizado para dar um bom acabamento no aço e uma camada uniforme de proteção. Juntamente ao zinco adiciona-se alumínio em pequenas quantidades, de 0,005% até 0,01%, a fim de melhorar o escorrimento e brilho das peças galvanizadas. Este zinco tem a densidade de 7140 kg/m^3 que fica próxima à do Aço, que é de 7800 kg/m^3 .

A temperatura de fusão é de $419,5^\circ\text{C}$. Em geral são usados fornos elétricos de indução de baixa frequência tipo canal, o lingotamento do zinco é feito em lingoteiras ou lineares ou circulares e tradicionalmente os lingotes com peso unitário de 25 Kg.

Os resíduos que são gerados no processo de galvanização, formam através do contato do aço com o banho de zinco. Segundo ICZ (2010, p. 6) o zinco é um metal não ferroso que pode ser reciclado indefinidamente sem nenhuma perda das propriedades físicas ou químicas. Desta maneira o processo de galvanização tem sua principal vantagem, que garantem sua sustentabilidade ambiental e seu custo-benefício. Cerca de 30% (3 milhões de toneladas) do consumo mundial de zinco vem de fontes recicladas.

Há dois resíduos produzidos durante a galvanização do aço, uma mistura de zinco/ferro, chamada de borra, e as cinzas de zinco, constituídas principalmente de óxidos. Ambos contêm alto teor de zinco e podem ser reciclados, recuperando esse zinco. Há diversas empresas especializadas que realizam esse serviço, de recuperação e reciclagem desses resíduos. O zinco reciclado em geral retorna para as cubas de galvanização e o óxido de zinco pode ser utilizado por indústrias farmacêuticas, cerâmicas, ou de produtos de borracha.

Segundo (CAMPANHER, 2009) a “terra de zinco” que é mais conhecida como cinza de zinco, mostrado na figura 4.a, é gerada no banho de galvanização, composto por óxido de zinco, zinco metálico e cloretos em teores variáveis. Esses resíduos se formam na superfície do banho quando ocorre o processo de oxidação do zinco no momento que entra em contato com o oxigênio e com escórias da reação fluxo-zinco-ferro. A formação de cinzas de zinco pode ser maior quanto maior é a agitação do banho.

A borra de zinco, também conhecida como o "areião", figura 4.b, é gerada no processo de galvanização com a reação do ferro, arrastado pelo processo de fluxagem. Cada 4g de ferro arrastado para dentro da cuba, cerca de 1 kg de borra de zinco é formado. O "areião" é composto pelas ligas ferro-zinco que não se dissolvem à temperatura normal de zincagem, fazendo com que sejam decantados no fundo da cuba de zinco. Sua composição contém um teor elevado de zinco com até 96 % de zinco e 4% de ferro. Quando esse resíduo se deposita no fundo da cuba de zinco, prejudica o aquecimento da cuba, pois esse material contém uma baixa condutividade térmica.

O pó de zinco, é gerado do a partir do processo de sopro, realizado em galvanização de tubos. Quando o tubo sai do banho de zinco ele é encaminhado para um bocal que libera um jato de vapor, a 300°C, e pressão de até 10 Bar. Esse processo é realizado para retirar o excesso de zinco de dentro das peças que foram galvanizadas. Assim o zinco que está em processo de escoamento se desprende da peça e se forma em minúsculas partículas que se solidificando em forma de pó, conforme figura 4.c, e geram o conhecido pó de zinco.

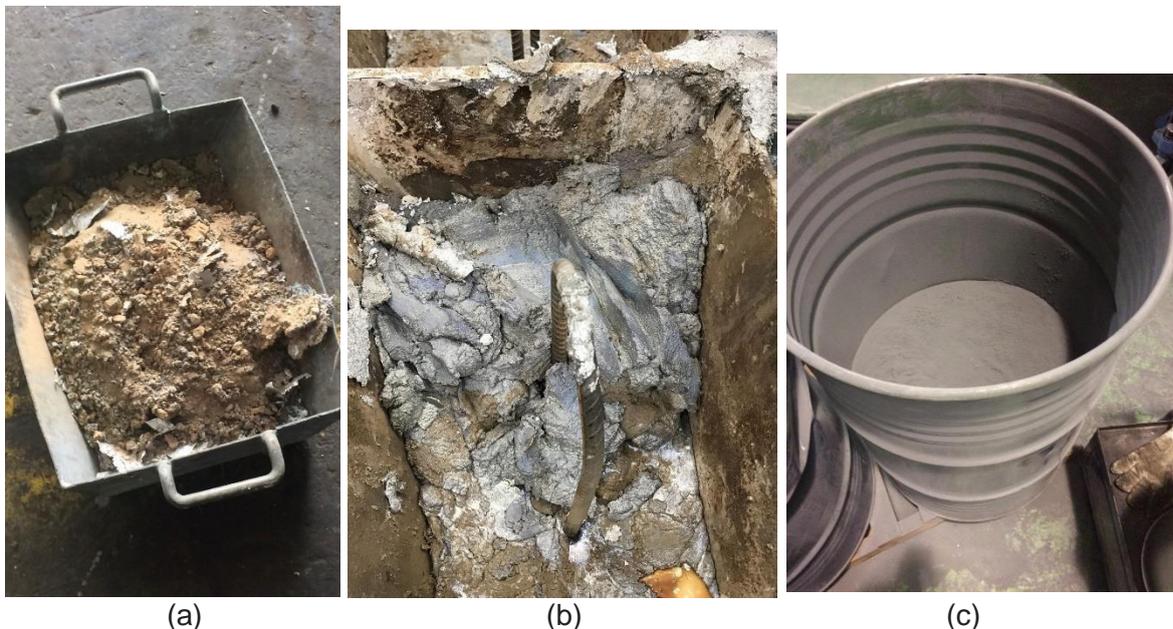


Figura 4: (a) Cinza de Zinco, (b) Borra de Zinco, (c) Pó de Zinco. Fonte: autoria própria.

4. RECICLAGEM E RECUPERAÇÃO DO ZINCO A PARTIR DA CINZA DE ZINCO

Neste artigo será visto apenas o processo de reciclagem da cinza do zinco, por se tratar de um processo mais simples e econômico. O processo de reciclagem e recuperação consiste em aquecer as cinzas de zinco acima do ponto de fusão do zinco e agitar a mistura, de forma a liquefazer o zinco metálico sólido, que está misturado a cinza, separando o zinco puro das cinzas de zinco. Quando a cinza de zinco se forma, ela fica sobre a superfície do zinco metálico líquido, sem se misturar novamente, pois ela é composta essencialmente de óxido de zinco.

Neste estudo, foi construído um protótipo, que pode ser visto na figura 5. O equipamento é constituído por um forno cilíndrico rotativo, movido por um motor-reductor. O cilindro fica apoiado sobre dois rolos que o suportam e ajudam na movimentação, enquanto o cilindro está em movimento os dois lança chamas aquecem o mesmo até atingir a temperatura de 450°C que é medida através de um termômetro infravermelho.



Figura 5: Protótipo. Fonte: autoria própria.

Em teste realizado com a cinza de zinco, foi retirado da cuba de galvanização 13 Kg de cinzas. O tambor foi abastecido com as cinzas e em sequência foi fechado, posteriormente foi colocado no suporte e iniciado o processo de aquecimento com dois lança chamas e um maçarico. Durante o processo de aquecimento, ocorreu a rotação do tambor para que o zinco metálico seja aquecido e se torne líquido, separando-se das cinzas de zinco. O processo de aquecimento e rotação durou aproximadamente 45 minutos, até atingir uma temperatura de 450°C, cujo valor está acima da temperatura de fusão do zinco metálico (419,5°C). A figura 6.a mostra o processo de aquecimento juntamente com a rotação. Infelizmente os queimadores não foram suficientes para aquecer totalmente o tambor, portanto foi necessário utilizar um maçarico para atingir os 450°C desejados. Então foi retirado o zinco líquido do tambor pela parte inferior dele. Esse zinco foi pesado para termos de comparação. Dos 13kg de cinza de zinco, o processo de reaproveitamento do zinco rendeu 5 kg de zinco metálico e 7,8 kg de cinzas de zinco. Ainda faltaram aproximadamente 200g dessa mistura. Essa diferença acontece, pois, parte do zinco metálico se depositam nas paredes internas do tambor, como pode ser visto na figura 6.c. Assim, nota-se que aproximadamente 40% do zinco foi recuperado das cinzas. Posteriormente foi realizado uma análise química por espectrometria desse zinco metálico, obtendo 99,35% de Zn, 0,6% Pb e 0,013% Fe (conforme figura 7).

Devido a pureza do zinco, baixa quantidade de ferro e uma pequena quantidade de chumbo é possível a utilização desse “Zinco reciclado” para abastecimento da cuba de galvanização, visto que o teor de ferro ficou dentro do limite. A quantidade de chumbo presente pode auxiliar na proteção da cuba, visto que sua densidade é maior e tende a ficar no fundo da cuba. Campanher cita:

“Os tipos de zinco mais correntemente utilizados em galvanização são aqueles cujo teor em zinco é da ordem de 98 a 98,5%, sendo o restante constituído de 1,2 a 1,6% de chumbo, 0,2 a 0,5% de cádmio, 0,02 a 0,05% de ferro, correspondendo ao tipo Prime Western da ASTM B-6 e ao tipo comum da ABNT.” (CAMPANHER, 2009, p. 45).

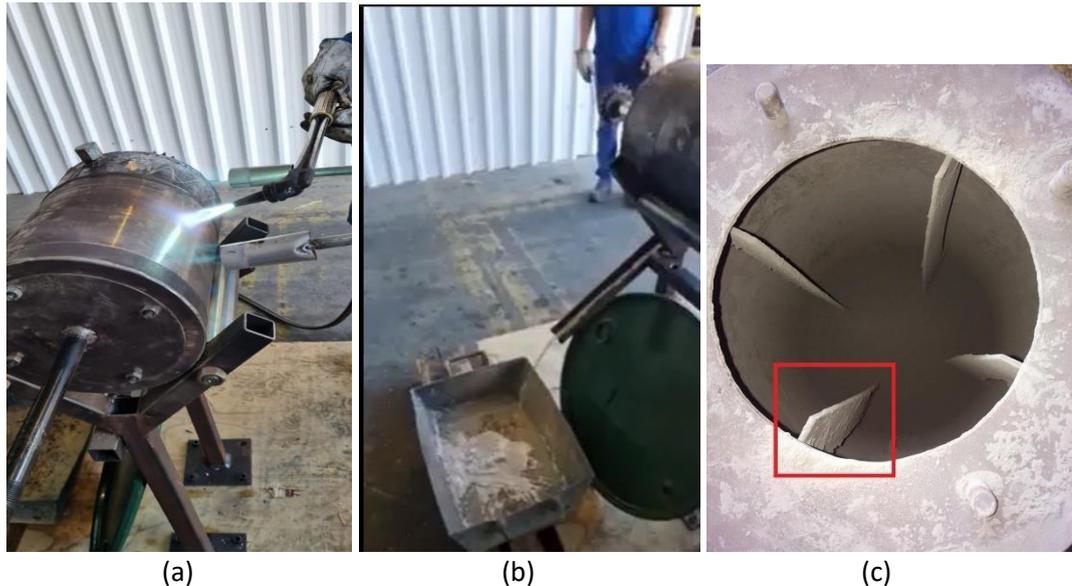


Figura 6: (a) Queimadores aquecendo o tambor, (b) retirada do zinco metálico, (c) Camada interna do tambor com deposição de zinco. Fonte: autoria própria.

07/06/2021 09:15:40

QMatrix Analysis Results

	Pb %	Mg %	Al %	Cd %	Fe %	Sn %	Cu %	Mn %	Ni %	Tl %
1.	0.581	<0.0010	<0.0050	<0.0020	0.012	<0.0050	<0.0020	0.0021	0.0020	<0.0020
2.	0.613	<0.0010	<0.0050	<0.0020	0.011	<0.0050	<0.0020	0.0023	0.0022	<0.0020
3.	0.618	<0.0010	<0.0050	<0.0020	0.019	<0.0050	<0.0020	0.0022	0.0027	<0.0020
4.	0.587	<0.0010	<0.0050	<0.0020	0.012	<0.0050	<0.0020	0.0022	0.0022	<0.0020
∅	0.600	<0.0010	<0.0050	<0.0020	0.013	<0.0050	<0.0020	0.0022	0.0023	<0.0020
σ	0.018				0.0037			0.00008	0.00030	
ν	3.000				28.46			3.636	13.04	

	Ag %	In %	Sb %	Bi %	Ca %	Zn %
1.	<0.0020	<0.0050	<0.010	<0.0020	<0.0	99.37
2.	<0.0020	<0.0050	<0.010	<0.0020	<0.0	99.34
3.	<0.0020	<0.0050	<0.010	<0.0020	<0.0	99.32
4.	<0.0020	<0.0050	<0.010	<0.0020	<0.0	99.36
∅	<0.0020	<0.0050	<0.010	<0.0020	0.0	99.35
σ						0.022
ν						0.022

Figura 7: Resultados da análise química por espectrometria do zinco recuperado. Fonte: autoria própria.

A partir desses resultados iniciais, foi dado início ao projeto de um forno de reaproveitamento de zinco que suporte uma quantidade maior de cinzas de zinco. O projeto conta com um tambor de fusão, que suporte 500 kg de cinzas e a estrutura, que possui os apoios roletados, motor para realizar a rotação do tambor e a estrutura de apoio. O tambor está apresentado na figura 8. A estrutura do tambor, que foi criado a partir do conceito utilizado pelo protótipo, porém o tambor apresenta um sistema de rotação com encaixe interno, assim tornando mais fácil sua colocação e remoção. Outra melhoria realizada, foi sua estrutura dimensional, que tem capacidade para alocar 500 kg de cinza de zinco, suas dimensões são de aproximadamente 1174 mm x 740 mm. Para uma melhor resistência

mecânica e térmica o tambor de fusão é constituído por um material USI AR 500. As cinzas são adicionadas dentro do tambor por uma porta frontal, com o resíduo inserido antes do início do processo de rotação e aquecimento. A cinza de zinco começa a ser arrastada pelas pás que estão localizadas no fundo do forno, e quando a temperatura atingir 450°C o processo terminará, então o zinco é extraído pela abertura na parte inferior do tambor de fusão.

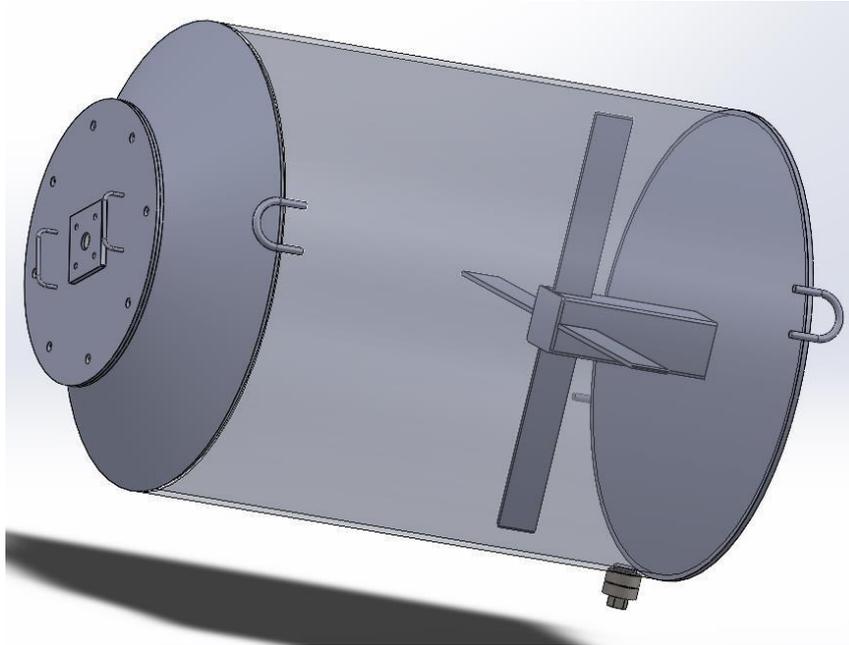


Figura 8: Tambor com maior capacidade de recuperação de zinco. Fonte: autoria própria

A segunda parte é a estrutura, que precisou de grandes mudanças, pois no protótipo houve uma grande dificuldade de aquecimento, pois o tanque é aberto para o ambiente e não possui nenhuma isolamento térmica. A nova estrutura pode ser vista na figura 9. Pode-se notar que há uma inclinação do tanque rotativo, pois o zinco metálico líquido precisa escoar pelo orifício inferior do tanque. Além disso, há dois pontos de apoio com mancais rolamentados e um atuador pneumático de 100 x 125mm que auxiliam para fazer a inclinação do forno facilitando o escoamento do material já derretido. O forno é composto por uma estrutura externa metálica, revestida internamente com tijolos refratários, evitando a perda de calor. Dentro dessa estrutura encontra-se o tanque rotativo e os queimadores a gás weishaupt WM-G20_2-A que aquecem esse tanque. Na parte superior do forno há uma chaminé para liberação dos gases da queima. Na parte lateral está localizada a janela de inspeção do cilindro durante o processo e uma abertura do tampão de escoamento do zinco que fica no cilindro rotativo.

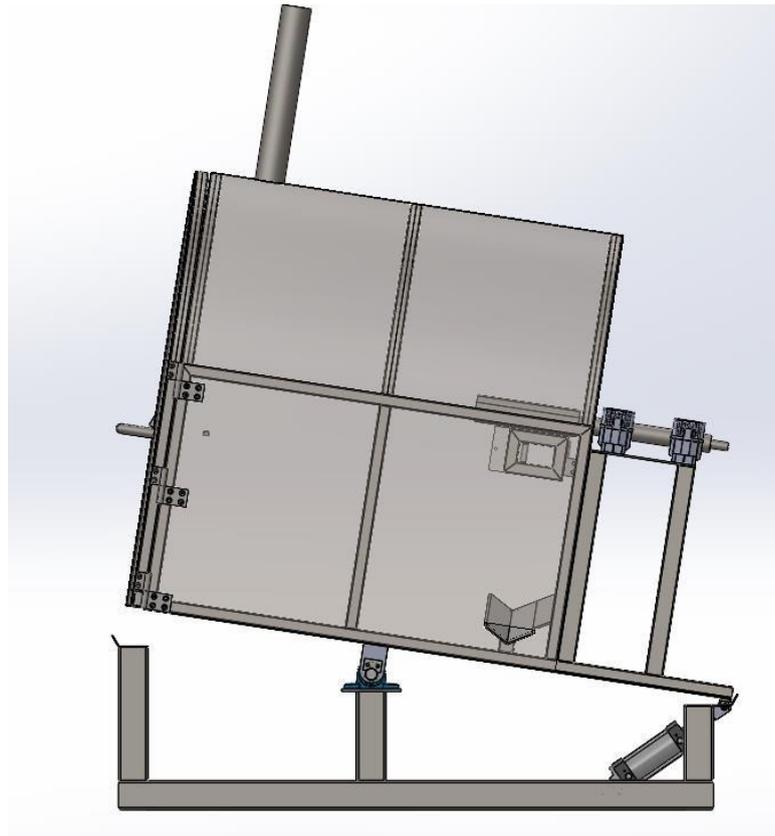


Figura 9: Estrutura que comporta o forno de recuperação de zinco. Fonte: autoria própria

Foi analisada a viabilidade da realização do projeto que tem como finalidade a reutilização da cinza de zinco, visto que, hoje em dia a mesma é vendida para empresas especializadas na reutilização. A tabela 1 apresenta o comparativo dos valores de venda dos materiais os valores obtidos a partir da reutilização dos resíduos recuperados. Nessa análise, supôs-se uma produção mensal de 22 toneladas de cinzas de zinco, que podem ser vendidas a R\$11,00 o quilograma, gerando uma receita de R\$242.000,00. Com um aproveitamento ideal de 45%, trazido no novo projeto, obtém-se uma recuperação de 9,9 toneladas. O zinco metálico é comprado por R\$23,00 o quilograma, portanto, essa recuperação rende R\$102.805,00. Ainda é possível vender o restante das cinzas de zinco, que sobra do processo de recuperação do zinco, pelo valor de R\$8,50 o quilograma. Sendo assim, há um retorno financeiro positivo, e muito rentável. Torna então mais interessante realizar a recuperação do zinco metálico a partir das cinzas de zinco in loco, dentro da própria empresa, gerando uma grande economia do que realizar a venda das cinzas produzidas.

5. CONCLUSÃO

O objetivo do projeto foi mostrar que a recuperação/reciclagem do zinco a partir dos resíduos de zinco produzidos durante a galvanização a quente é bastante rentável, podendo ser realizada in loco, ou seja, na própria empresa que realiza a galvanização, trazendo uma economia real. Uma empresa que produza 22 toneladas de cinzas de zinco mensalmente teria um lucro bruto mensal de R\$88.550,00, cujo valor seria suficiente para pagar a construção do equipamento de recuperação de zinco.

Produção de cinza de zinco kg mês	Reaproveitamento de 45%
22.000	$22.000 \times 45\% = 9.900\text{kg}$
Valor venda atual	Valor recuperado
$22000 \times 11,00 = \text{R\$ } 242.000,00$	$9.900 \times 23,00 = \text{R\$ } 227.700,00$
	Valor da venda sobras da reutilização
	$12.100 \times 8,50 = \text{R\$ } 102.805,00$
	Valor total recuperado
	$227.700,00 + 102.850,00 = \text{R\$ } 330.550,00$
Lucro bruto	
$330.550,00 - 242.000,00 = \text{R\$ } 88.550,00$	

Tabela 1: Quadro comparativo entre cenários de venda e recuperação do zinco através do projeto de recuperador. Fonte: autoria própria.

Vale a pena ressaltar que neste artigo, a recuperação/reciclagem de zinco acontece pela separação do zinco metálico já presente nas cinzas de zinco, que compõem 40 a 45% da massa total das cinzas. O restante das cinzas de zinco é basicamente óxido de zinco, que pode ser vendido para outras indústrias para usos específicos.

Projetos futuros podem ser avaliados, como a recuperação do zinco metálico a partir do pó de zinco e da borra de zinco, que também são resíduos provenientes da galvanização a quente. Entretanto, esses processos são mais complexos e demandam um orçamento maior para uma menor eficiência quando comparado ao projeto mostrado neste artigo.

REFERÊNCIAS

BS EN 1179. Zinc and Zinc Alloy Primary Zinc. Maio 2003.

CAMPANHER, Cirano Gewehr. **Otimização experimental em processo de galvanização de arames de camada pesada**. Porto Alegre, 2009. 111 p. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/18602>. Acesso em: 19 out. 2021.

DA CUNHA, Kellen Tebaldi. **Avaliação da qualidade do revestimento em tubos de aço galvanizado**. lume.ufrgs.br. Rio Grande do Sul, 2021. 74 p. Disponível em: www.lume.ufrgs.br. Acesso em: 15 nov. 2021.

FLUXOGRAMA de um processo de galvanização a fogo. ICZ instituto de materiais não ferrosos. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.icz.org.br/fluxograma-de-um-processo-de-galvanizacao-a-fogo.php>. Acesso em: 22 set. 2021.

ICZ INSTITUTO DE MATERIAIS NÃO FERROSOS. **Guia de galvanização por imersão a quente**. 2 ed. São Paulo, f. 54, 2010. 48 p. Disponível em: [http://www.galvanisa.com.br/files/guia-de-galvanizacao-por-imersao-a-quente\(icz\).pdf](http://www.galvanisa.com.br/files/guia-de-galvanizacao-por-imersao-a-quente(icz).pdf). Acesso em: 2 nov. 2021.

NBR 5580. Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos - Especificação. Out 2015.
NBR 5590. Tubos de aço-carbono com ou sem solda longitudinal, pretos ou galvanizados - Requisitos. Nov 2015.

SOARES, Osvaldo Junior Alves Soares. **Melhorias de produto / processo pela utilização de ligas de zamac**. Domínio Público. São Paulo, 2008. 167 p. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/>. Acesso em: 15 nov. 2021.