



2º Congresso  
**Tudo é  
Ciência:**  
**(Ser) Humano na  
Sociedade 5.0**



ORGANIZADO POR:

UniFOA

## Estudo sobre materiais resistentes a ácido sulfúrico em um processo de decapagem de uma linha de estanhamento eletrolítico

Alexandre Alvarenga Palmeira<sup>1,2</sup>; 0000-0002-9271-8858  
Asafe Melo de Souza<sup>2</sup>; 0000-0001-6330-1490  
Mariana Lourenço Abdouni<sup>2</sup>; 0009-0007-9687-0826  
Shimeni Baptista Ribeiro<sup>2</sup>; 0000-0002-5671-3742

1 – UERJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Tecnologia, Resende, RJ

2 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

[alex.a.palmeira@gmail.com](mailto:alex.a.palmeira@gmail.com)

**Resumo:** Pretende-se através do presente trabalho realizar uma análise de materiais resistentes ao ácido sulfúrico diluído em água em um processo de decapagem de uma linha de estanhamento eletrolítico e avaliar a viabilidade dos mesmos. Esta pesquisa teórica foi feita através de livros, dissertações e artigos e teve como objetivo avaliar os materiais resistentes ao ácido sulfúrico em concentrações de 3 a 8% e desta forma através dos parâmetros de vantagens e desvantagens, disponibilidade e custo realizar a seleção do material mais indicado para uso em tanques e tubulações de ácido sulfúrico. Dentre os materiais estudados estão inclusos os aços inoxidáveis da série 300 e 400 e os materiais poliméricos de baixa, média, alta densidade e especiais. Desta forma a pesquisa se aprofundou nos aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 316 por apresentarem melhores resultados contra corrosão química do que os aços da série 400. Já sobre os materiais poliméricos a pesquisa foi feita para o politetrafluoretileno (PTFE) e polietileno de alta densidade (PEAD) que apresentam excelente resistência a corrosão em ambientes ácidos comparados aos outros tipos de polímeros. Após as pesquisas, comparando os materiais, tanto para aplicação de tanques quanto para de tubulações, o aço inoxidável AISI 316 foi selecionado como o mais adequado para aplicação no processo devido a sua resistência mecânica, resistência contra corrosão e custo.

**Palavras-chave:** Corrosão. Aço inox. PTFE. PEAD.



2º Congresso  
**Tudo é  
Ciência:**  
**(Ser) Humano na  
Sociedade 5.0**

2º Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares  
Volta Redonda - RJ | 26 a 28 de Outubro

ORGANIZAÇÃO

UniFOA



## INTRODUÇÃO

O estanhamento eletrolítico é um processo de revestimento de aços base com estanho, este processo tem como sua principal desvantagem a utilização de soluções ácidas em algumas etapas do processo. Na decapagem as superfícies metálicas são preparadas para receber o revestimento de estanho. Durante essa etapa, o ácido sulfúrico diluído em água é utilizado para remover as impurezas e óxidos presentes na superfície do material, permitindo uma adesão eficiente do revestimento. (COUTO, 2010, RITZDORF, 2010, ARAÚJO, 2008, SNYDER, 2010)

Os processos de corrosão ocorrem em diversos tipos de indústrias e causam perdas econômicas diretas como o custo de substituição dos itens e indiretas como o custo de parada de equipamento para substituição do item afetado pela corrosão, perda de insumos como água, soluções e outros. (GENTIL, 1996)

A corrosão em materiais metálicos é causada por uma reação química onde elétrons de um componente químico se transferem para o outro componente químico, este é um processo eletroquímico que resulta em oxidação, que é causada pela tendência dos átomos metálicos de perder elétrons. Durante o processo de corrosão em materiais metálicos, o outro componente químico é reduzido por meio da transferência dos elétrons provenientes do material oxidado. (CALLISTER JR, 2002)

Os materiais poliméricos igualmente evidenciam deterioração devido a interações com o ambiente. Enquanto as reações de corrosão em metais são eletroquímicas, na degradação dos polímeros, por outro lado, ocorre por um processo físico-químico. Pode ocorrer a quebra de ligações covalentes como resultado do calor, reações químicas e radiação, resultando em uma diminuição simultânea na integridade mecânica. (RETHWISCH, 2016)

As ligas inoxidáveis possuem uma película protetora, formada majoritariamente por óxido de cromo, que separa o metal base do meio corrosivo. Esse comportamento é conhecido como passivação. A característica do óxido de cromo permite que a camada de produto de corrosão na superfície se torne aderente e impermeável, isolando o material base do ambiente. Os aços inoxidáveis são classificados como martensíticos, austeníticos e ferríticos. Os aços inoxidáveis martensíticos podem





apresentar uma resistência limitada à corrosão devido ao teor de carbono presente, o que os torna propensos a formar carbonetos de cromo durante o processo de recozimento. Além disso, eles possuem menores teores de cromo comparando-os aos outros tipos de aços inoxidáveis. Em contraste, os aços inoxidáveis ferríticos exibem uma maior resistência à corrosão em virtude dos teores mais elevados de cromo. No entanto, essa melhora na resistência à corrosão vem acompanhada de uma diminuição na resistência ao impacto. Os aços inoxidáveis austeníticos apresentam teores elevados de cromo, variando entre 16% e 25% nesta liga, juntamente com adições de níquel. Esses elementos promovem a transformação da fase ferrítica para a austenítica, resultando em mudanças significativas nas propriedades dos aços. Essa categoria de aços inoxidáveis é reconhecida por sua excelente resistência à corrosão. Dentro desse grupo, os aços do tipo 304 são amplamente utilizados por apresentarem boa resistência à corrosão. No entanto, a adição de molibdênio nos aços da série 316 confere uma resistência ainda maior à corrosão, tornando-os ideais para aplicações em indústrias que envolvem o processamento de materiais químicos. (MCGUIRE, 2008, CHIAVERINI, 2005, RETHWISCH, 2016)

Há uma ampla variedade de materiais poliméricos que são amplamente conhecidos, possuem diversas aplicações e podem ser categorizados em função de sua aplicação final. (RETHWISCH, 2016)

O Polietileno de Alta Densidade, também conhecido como PEAD, é reconhecido por sua baixa reatividade química, apresentando estabilidade mesmo quando exposto a agentes oxidantes. Além disso, mantém sua integridade em soluções alcalinas, independentemente da concentração, e em soluções salinas, não sendo afetado pelo pH. Entretanto, o PEAD pode sofrer uma reação lenta, resultando na formação de sulfo-derivados quando está em condições de alta temperatura e concentrações superiores a 70% de ácido sulfúrico. (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003)

O PTFE é um termoplástico que possui uma combinação excepcional de propriedades químicas, térmicas, mecânicas e elétricas. É altamente resistente a alterações químicas, sendo que somente os metais alcalinos fundidos, o trifluoreto de cloro ou o difluoreto de oxigênio podem afetar sua estrutura físico-química. (PolyBrasil, 2018)





## MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho ocorreu através de uma pesquisa bibliográfica, buscando informações através de materiais teóricos como livros, artigos e dissertações de diversos autores. A escolha das fontes de pesquisa foram em função de livros utilizados apresentarem detalhes fundamentais sobre os materiais, como suas propriedades físicas e químicas, além de fornecer detalhes sobre sua resistência ao ácido sulfúrico, as dissertações acadêmicas apresentam as pesquisas mais recentes e complementam as informações obtidas nos livros e os artigos científicos apresentam informações de pesquisas experimentais e estudos de caso para a seleção do material. O levantamento das informações referentes a Linha de Estanhamento Eletrolítico foi realizado através de livros e dissertações, onde foi verificada a concentração de 3 a 8% do ácido sulfúrico na seção de decapagem da linha, assim como a temperatura de processo sendo a temperatura ambiente, estas informações são fundamentais para a seleção do material a ser utilizado.

A pesquisa dos materiais foi realizada identificando inicialmente quais são os materiais resistentes ao ácido sulfúrico nas condições de processo da seção de decapagem.

Após a seleção dos materiais resistentes ao ambiente corrosivo do ácido sulfúrico, a pesquisa se aprofundou, a fim de buscar os parâmetros como vantagens e desvantagens, onde as informações como maior resistência a corrosão e maior resistência a impactos foram avaliadas para cada material, disponibilidade, uma vez que este parâmetro influencia diretamente no custo, materiais mais escassos tendem a ser mais caros, enquanto materiais amplamente disponíveis costumam ser mais acessíveis e o último parâmetro pesquisado foi referente ao custo, para este parâmetro foi utilizada uma média do custo de aquisição dos materiais desde 2021 por uma empresa. Após as pesquisas para os materiais selecionados foi realizada uma compilação destas informações em forma de tabela, e então foi realizada a avaliação e seleção do material.





## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aços da série 300 (austeníticos) apresentam resistência a corrosão mais satisfatórias que os aços das series 400 (martensíticos e ferríticos), em função dos teores de cromo e adições de níquel, desta forma a pesquisa se aprofundou nos aços inoxidáveis austeníticos AISI 304 e AISI 316. No campo dos não metais, foram selecionados os polímeros PTFE e PEAD que apresentam excelente resistência a corrosão em ambientes ácidos em função de suas estruturas moleculares. Um resumo das propriedades é apresentado na tabela 1 para os polímeros e tabela 2 para os aços inoxidáveis.

Tabela 1 - Polímeros

Material	Vantagens	Desvantagens	Disponibilidade	Custo (Valor Aproximado)
Polímero	PEAD <ul style="list-style-type: none"><li>- Apresenta baixa reatividade química</li><li>- Permanece estável quando exposto a agentes oxidantes, soluções alcalinas independente da concentração e soluções salinas, independentemente do pH</li><li>- Não reage com ácidos orgânicos, como o HCl ou HF.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reage lentamente com o ácido sulfúrico em soluções com concentração maior que 70% e altas temperaturas</li></ul>	Ampla disponibilidade	Tubo: R\$30/m
	PTFE <ul style="list-style-type: none"><li>- Possui uma combinação excepcional de propriedades químicas, térmicas, mecânicas e elétricas.</li><li>- É altamente resistente a alterações químicas</li><li>- É resistente a todas as concentrações de ácido sulfúrico.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Superfície não é aderente, quando necessário, a aderência a outro material é necessário um tratamento superficial.</li></ul>	Ampla disponibilidade	Tubo: R\$300/m

Fonte: Autores (2023)

Dentro do grupo dos polímeros, o PTFE apresenta excelente resistência a corrosão, além de possuir excelente propriedades mecânicas, porém é um material de custo elevado.



Tabela 2 - Aços Inoxidáveis

Material		Vantagens	Desvantagens	Disponibilidade	Custo (Valor Aproximado)	
Aços inoxidáveis	Austenítico (série 300)	AISI 304	- Resistência a corrosão - Excelente ductilidade - Excelente soldabilidade	- Em função da concentração de cloreto pode ocorrer a corrosão por frestas, por pites e sob tensão	Ampla disponibilidade	Chapa: R\$ 32/Kg Tubo: R\$200/m
		AISI 304L	- Resistente a corrosão intergranular - baixo teor de carbono	- Menor resistência mecânica que o 304	Ampla disponibilidade	Chapa: R\$40/Kg Tubo: R\$250/m
		AISI 316	- Mais resistente à corrosão por frestas e por pites - Em função do molibdênio, em meios ácidos apresenta melhor resistência do que os materiais 304 e 304L	-	Ampla disponibilidade	Chapa: R\$130/Kg Tubo: R\$140/m
		AISI 316L	- Resistente a corrosão intergranular - Em função do molibdênio, em meios ácidos apresenta melhor resistência do que os materiais 304 e 304L - baixo teor de carbono	- Menor resistência mecânica que o 316	Ampla disponibilidade	Chapa: R\$440/kg Tubo: R\$500/m

Fonte: Autores (2023)

Dentro do grupo dos aços inoxidáveis, o AISI 316 é o que apresentou melhor combinação de resistência a corrosão e impactos, além de também apresentar custo inferior ao polímero PTFE.



## CONCLUSÕES

Através desta pesquisa foi possível analisar os materiais que teriam maior resistência química ao ácido sulfúrico diluído no processo de decapagem e comparar os mesmos para viabilidade de aplicação. Com isso, concluímos que o AISI 316 é o mais adequado pois é resistente à corrosão por pites e por frestas, apresenta uma melhor resistência mecânica do que outros materiais e tem um custo aceitável. Essas características elevam sua vida útil no processo e aumentam a viabilidade de implementação em processos de decapagem de linhas de estanhamento eletrolítico.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao UniFOA pelo apoio no desenvolvimento técnico-científico através dos mecanismos de desenvolvimento disponibilizados e pelo incentivo discente através do programa fomento a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Luiz Antônio de. Estanhamento. In: DE ARAÚJO, Luiz Antônio. **Manual de Siderurgia**. [S. l.]: Arte & Ciência, 2008. v. 2, cap. XII, p. 329-341.
- CALLISTER JR., William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CARBÓ, Héctor Mario. **Aços Inoxidáveis: aplicações e especificações**. [S. l.]: ArcelorMittal, Jan 2008. Disponível em: <http://guides.com.br/home/wp-content/uploads/2011/12/inonx-apost-tec.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos: Características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**. 7ª. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.





COUTINHO, Fernanda M. B.; MELLO, Ivana L.; SANTA MARIA, Luiz C. de. **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações**. Polímeros, [s. l.], Jan 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/vzPmcF9tLYGRPvK67CnWj9S/?lang=pt#>. Acesso em: 8 jun. 2023.

COUTO, João Carlos Martins do. **AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO DE CAMADA INTERMETÁLICA FeSn<sub>2</sub> NA ETAPA DE REFUSÃO DO ESTANHO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE FOLHAS-DE-FLANDRES**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense, [S. l.], 2010.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1996.

MCGUIRE, Michael. **STAINLESS STEELS FOR DESIGN ENGINEERS**. [S. l.]: ASM International, 2008.

RITZDORF, Tom. Manufacturing tools. In: RITZDORF, Tom. **Modern Electroplating**. 5ª. ed. [S. l.]: Copyright © 2010 John Wiley & Sons, Inc., 2010. cap. 24, p. 513-526.

SNYDER, Dexter D. **Preparation for Deposition**. In: SNYDER, Dexter D. Modern Electroplating. 5ª. ed. [S. l.]: Copyright © 2010 John Wiley & Sons, Inc., 2010. cap. 23, p. 507-512.

POLYBRASIL. **POLITETRAFLUORETILENO-PTFE**. In: POLITETRAFLUORETILENO - PTFE: Datasheet. [S. l.], Julho 2018. Disponível em: <https://www.polybrasil.com.br/wp-content/uploads/2018/08/datasheet-ptfe-poli.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023.

