



International Conference for
Academia and Industry Co-operation

20/11/2023 – 24/11/2023

São Luis - Maranhão - Brasil



International Meeting in Materials
Science and Engineering of Maranhão

REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO GERADO NO PROCESSO DE SOLDAGEM EM AÇOS INOXIDÁVEIS

REUSE OF WASTE GENERATED IN THE WELDING PROCESS ON STAINLESS STEEL

Kethlen N. S. Lima^{1*}, Maria F. F. Pontes¹, Maria A. L. Mesquita² e Mauro C. Florez¹

1 - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMM), Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

2 - Departamento de Ciências da Saúde, Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, CE, Brasil.

kethlenniccoli@alu.ufc.br

RESUMO

O presente trabalho aborda uma alternativa pouco explorada referente a reutilização de resíduos provenientes dos processos de soldagem em aços inoxidáveis, que possui em sua composição dois metais: Níquel e Cromo, presentes na classe I de materiais de acordo com a NBR que trata de resíduos de processos, os classificando também como perigosos. Esses metais possuem uma maneira de descarte complexa pelo seu alto teor de toxicidade para o meio ambiente. Com uma metodologia transversal e de caráter exploratório, o presente artigo conta com análises dos preços de metais que compõem esta liga metálica, e interliga a ideia da reutilização de resíduos que contenham tais metais, no caso os provenientes de processos de soldagens dos aços inoxidáveis, sendo eles TIG, MIG/MAG e Eletrodo Revestido, e conclui trazendo a ideia de que, em grande escala e a longo prazo, pode ser viável para as empresas que fabricam estes aços reconsiderarem o descarte dos resíduos com Níquel e Cromo, e se traz na forma de atrativo econômico a sua reinserção no processo de fabricação de aços inoxidáveis ao invés do descarte atual que traz consequências ao meio ambiente se feito de forma incorreta.

Palavras-chave: Resíduos, Níquel, Cromo, Reutilização, Aço inoxidável.

ABSTRACT

This paper deals with a little-explored alternative for reusing waste from stainless steel welding processes, the composition of which includes two metals: nickel and chromium, which are class I materials according to the NBR, which deals with process waste and classifies them as hazardous. These metals are complex to dispose of due to their high level of toxicity to the environment. Using a cross-sectional and exploratory methodology, this article analyzes the prices of the metals that make up this metal alloy, and interlinks the idea of reusing waste containing these metals, in this case from stainless steel welding processes, including TIG, MIG/MAG and Coated Electrode, and concludes with the idea that, on a large scale and in the long term, it may be feasible for the companies that manufacture these steels to reconsider the disposal of waste containing nickel and chromium, and to make their reinsertion in the stainless steel manufacturing process economically attractive, instead of the current disposal, which has consequences for the environment if done incorrectly.

Keywords: Waste, Nickel, Chrome, Reuse, Stainless steel

INTRODUÇÃO

A origem do aço inoxidável está intrinsecamente ligada à busca por uma liga metálica que fosse resistente à processos corrosivos, e foi então que, em 1872, Richard Krupp desenvolveu uma liga com alto teor de cromo, conhecida como "Aço Krupp", que exibia notável resistência à corrosão^[1]. No entanto, o verdadeiro avanço na produção de aço inoxidável ocorreu em 1912, quando Harry Brearley, na Inglaterra, desenvolveu uma liga contendo cerca de 12% de cromo, que ficou conhecida como "aço inoxidável martensítico"^[1]. Esta descoberta foi fundamental para a produção em massa de tal material e marcou o início de sua história comercial.

No Brasil, embora tenha experimentado uma redução no que se refere a sua fabricação de aço no ano de 2022, foi previsto que a mesma crescerá cerca de 2% em 2023, alcançando um volume de 35,3 milhões de toneladas^[2]. Destaca-se que o mercado de aço no país apresentou um desempenho superior a outros, o que deverá contribuir para um resultado global significativo na produção e vendas deste ano, uma vez que as indústrias dos setores de alimentação e bebidas, sucroalcooleiro, papel e celulose, óleo e gás, farmacêutico e saneamento, se colocam em posição de impulsionadoras de um crescimento e aumento constante da procura por ligas metálicas, destaca-se dentre elas, o aço inoxidável^[2].

A tecnologia do aço inoxidável chegou ao Brasil durante o século XX, à medida que o país expandiu sua indústria metalúrgica e química. A produção e o uso de aço inoxidável no Brasil foram impulsionados pelo crescimento econômico e industrial ao longo do século, e hoje o país é um importante produtor e consumidor desse material em várias aplicações, desde equipamentos médicos até a indústria alimentícia e petroquímica. A adoção da tecnologia do aço inoxidável contribuiu significativamente para o desenvolvimento de setores-chave da economia brasileira^[3].

Os tipos de aço inoxidável podem ser classificados em cinco famílias básicas: ferrítico, martensítico, austenítico, dúplex e endurecível por precipitação^[2]. O aço inoxidável martensítico, desenvolvido por Harry Brearley por volta de 1912, destaca-se por sua resistência à corrosão e dureza. William Hatfield desenvolveu o aço inoxidável austenítico, por volta de 1913, conhecido por sua alta resistência à corrosão e uso em aplicações alimentícias e farmacêuticas^[2]. O aço inoxidável ferrítico, originado por volta de 1920, é caracterizado por seu teor elevado de cromo e baixo teor de níquel, sendo adequado para aplicações de alta temperatura^[2]. O aço inoxidável duplex, desenvolvido por volta de 1930, combina propriedades dos aços austeníticos e ferríticos, sendo utilizado na indústria química e petroquímica^[2]. Por fim, o aço inoxidável endurecível por precipitação, por volta de 1960, possui ligas que podem ser endurecidas por precipitação, conferindo alta resistência, sendo aplicado em setores como aeroespacial e médico^[2].

O processo de soldagem nos aços inoxidáveis muda conforme as características e propriedades que tenha o material, e pode acontecer por três processos, são eles: Eletrodo Revestido, TIG e MIG/MAG. A soldagem por Eletrodo revestido gera escórias e pontas de solda como resíduos sólidos, já os processos MIGMAG e TIG geram apenas resíduos de pontas de eletrodos^[3]. A NBR 10004/2004 classifica os resíduos dos processos de soldagem em três classes: classe I – perigosos, classe II - A – não inertes e classe II – B – inertes, tendo em vista que na própria fabricação de Aços inoxidáveis contém ferro, carbono em baixos teores, cromo (mínimo de 11%), níquel (máximo 30%), e pode ainda conter outros elementos, o processo de soldagem neste tipo de aço libera os elementos cromo e níquel, que são considerados metais pesados, o que define os resíduos gerados neste processo como se encaixando na classe I^[4].

O descarte incorreto destes resíduos advindos dos processos de soldagem, pode ocasionar uma alta toxicidade para o meio ambiente e para a sociedade, por isso os mesmos são descartados em aterros industriais, seguindo uma série de cuidados, como dupla impermeabilização, necessitar de uma manta sintética colocada sobre uma camada de argila compacta para que não contamine o ambiente ou passam por um processo de incineração, porém, somente por empresas que possuam um sistema bem avançado, uma vez que se faz necessário que também seja feito o tratamento dos gases resultantes da incineração, para que não cause danos a atmosfera^[5].

Pouco se fala de reciclagem com materiais considerados metais pesados, e sempre se opta por uma abordagem de descarte que necessite de bastante cuidado para ser executada, isto se dá em quaisquer resíduos que possuam materiais pesados, porém, uma conscientização de reaproveitamento dos mesmos, inserindo-os novamente em processos de produção, poderia gerar mais lucro as empresas a longo prazo. Trazendo mais para o âmbito Metal Mecânico, e tratado da liga metálica proveniente do aço, as empresas que fabricam aço inoxidável, poderiam reinserir os resíduos sólidos advindos dos processos de soldagem nestes materiais, novamente na produção deste aço, e economizar no processo de compra de níquel e cromo para fabricações futuras desta liga metálica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se no desenvolvimento deste artigo, uma metodologia transversal qualitativa de caráter exploratório, onde as informações apresentadas são provenientes de dados e valores presentes no mercado, e visando uma redução nos custos para produção em grande escala da liga metálica aço inoxidável, com a inserção dos resíduos de solda novamente no processo de produção

Análise da cotação anual do Níquel e Cromo

Como citado anteriormente, o Níquel é um dos elementos químicos que compõe as ligas de aço inoxidável, podendo chegar a máxima de 30% presente na fabricação de aços inoxidáveis, contudo, o difícil acesso a esse material tem aumentado seu valor em larga escala, o que faz uma grande diferença no que diz respeito aos gastos que o mesmo traz a longo prazo, para fabricação de materiais que o possuem em sua composição. A tabela 1 a seguir mostra o aumento do preço do Níquel entre os anos de 2018-2022 e, de acordo com estes dados, é possível afirmar que existe um impacto econômico relacionado a obtenção desta matéria prima no decorrer dos anos.

Tabela 1 - Cotação do Níquel

COTAÇÃO DO NIQUEL 01/11/2018 - 01/11/2022				
Período	Alta (R\$)	Baixa (R\$)	Variação (%)	Média anual (R\$)
Jan-Dez (2018)	1.095,2	735,0	-5,6%	898,3
Jan-Dez (2019)	1.314,8	735,2	46,4%	993,5
Jan-Dez (2020)	1.335,5	805,8	12,8%	1.038,6
Jan-Dez (2021)	1.641,6	1.145,2	28,0%	1.387,9
Jan-Dez (2022)	5.617,3	1.543,0	63,0 %	2.098,2

Fonte: Adaptada pelo autor, disponível em: <https://br.investing.com/commodities/nickel-historical-data>.

As taxas de variação, indicam o aumento ou declínio do valor de acordo com o último registrado no ano anterior, e com isto, ou com a comparação de qualquer dado presente na tabela referente a cotação do Níquel, em um período de 5 anos observamos o crescente aumento na oferta desta matéria prima.

Referente ao Cromo, pouco se fala sobre suas taxas de aumento mensais ou anuais, porém, para o ano de 2022, o tamanho do mercado de minério de cromo e cromita foi de US\$ 76,18 bilhões, estando previsto para chegar na marca de US\$ 110,20 bilhões até o ano de 2028, com taxa de crescimento anual composto (CAGR) de 5,3% de acordo com a previsão, o que entra mais uma vez no empasse do aumento do valor do mesmo, e na procura das empresas por este mineral, que possui como uma de suas principais funcionalidades na indústria a porcentagem que ocupa na fabricação de aços inoxidáveis, e outras ligas^[6].

Os aços inoxidáveis assim como outras ligas, quando expostos a elevadas temperaturas, podem acabar sofrendo mudanças na estrutura dos grãos, deste modo, a incidência de elevadas temperaturas pode promover mudanças tanto benéficas e necessárias ou mesmo prejudiciais e indesejadas^[7]. A soldagem é um exemplo de situação que pode modificar a estrutura desses materiais por meio do calor, devido a isso esse processo requer atenção especial principalmente na soldagem de tubos. Isso porque a exposição ao calor acaba propiciando a alteração nos contornos do grão e a formação dos carbonetos de Cromo, logo, as partículas de Carbono aderem ao Cromo, causando uma deterioração do material^[7].

Objetivo da aplicação dos resíduos.

Durante a soldagem, é fundamental otimizar ao máximo a utilização dos materiais, garantindo eficiência no processo, no entanto, mesmo com a busca por eficiência, inevitavelmente, resíduos desse procedimento surgem, e a acumulação desses resíduos ao longo do tempo pode resultar em desperdício de material valioso^[8]. Com o objetivo de maximizar a utilização desses recursos e promover práticas sustentáveis, iniciativas têm sido desenvolvidas, incluindo o aproveitamento de escórias provenientes de processos metalúrgicos como agregado miúdo na produção de argamassas multifuncionais^[8].

Essas práticas têm sido adotadas há algum tempo, e este trabalho visa explorar ainda mais as possibilidades de aplicação mais ampla para esses resíduos, promovendo não apenas a eficiência nos processos de soldagem, mas também a redução do impacto ambiental e o aproveitamento sustentável dos recursos disponíveis, e a reinserção do proveniente do processo de soldagem novamente nos processos de produção, nesse caso de aços inoxidáveis, tem o intuito de ajudar o meio ambiente, por conta de não realizar processos longos de descarte de metais pesados, quanto pela economia que estará por trás desta prática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados neste estudo corroboram com o preconizado na literatura no tocante a apontar um crescimento exponencial dos valores de Níquel e Cromo através da reinserção de resíduos provenientes do aço inoxidável, resultantes dos processos de solda realizado nos mesmos. Em larga escala, pode-se vir a gerar economia, bem como frisamos outro ponto igualmente válido, suas características tóxicas. Resíduos industriais que possuem esses materiais em sua composição necessitam de um cuidado e controle bastante rigoroso, logo, a reutilização do mesmo, também poderá vir a gerar mais lucro no que se refere diminuição ou mesmo findar o descarte dos rejeitos de soldas na natureza (FAVERO, 2020. ZANATTA, 2018).

Partindo do apresentado por GROENNER, 2007 em sua dissertação intitulada “reaproveitamento do resíduo de fabricação de consumíveis para soldagem em tijolos de

cerâmica vermelha”, incentivos econômicos são os mais visados quando falamos de reciclagem de resíduos, tanto pela diminuição de exposição dos metais pesados existentes nos mesmos gerados em soldagem, quanto pela economia de compra de matéria prima para a posterior fabricação, já que uma porcentagem do necessário seria composta de um resíduo anterior do mesmo material, além de melhorar a imagem pública de empresas que se dispõem a realizar métodos de reutilização de resíduos^[9].

Poucas são as análises publicadas, periodicamente, referentes a gastos em processos de produção, pelo fato dos valores dos materiais presentes nos produtos provenientes estarem em constante alteração de valores, porém, de acordo com dados coletados em determinado período, se faz possível realizar uma projeção futura de resultados. Com isto em mente, dados coletados nos anos 2000 (2000-2010), publicados em 2012 referente a quantidade de resíduos perigosos gerados em alguns estados do país, conforme tabela 2, mostra ser possível analisar os valores expressos tendendo a variações entre os estados pesquisados cada vez maiores, em comparação aos anos anteriores, o que se explica devido às suas diferentes características industriais, e de acordo com ela, tendo em vista também o aumento exponencial da procura de metais pesados pertencentes ao grupo I pela NBR 10004/2004, o que nos leva a concluir que a tendência da produção desses resíduos aumenta na mesma proporção.

Tabela 2 – Quantidade de resíduos sólidos industriais gerados no Brasil (Em t/ano).

UF	Quantidade de resíduos perigosos gerados (t/ano)
AC	5,500
AP	14,341
CE	115,238
GO	1.044,947
MT	46,298
MG	828,183
PB	657
PE	81,583
PR	634,543
RN	3,363
RS	182,170
RJ	293,953
SP	535,615
Total	3.783,391

Fonte: Adaptada pelo autor, IPEA, 2012, p. 28.

É importante frisar também que, em 2010, foi promulgada no Brasil a Lei nº 12.305/2010, estabelecendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta legislação tem como objetivo promover o adequado gerenciamento dos resíduos sólidos, sejam eles de origem urbana ou industrial. Conforme a PNRS, as indústrias são obrigadas a adotar práticas que priorizem a redução, reutilização e reciclagem de seus resíduos gerados^[13]. Os processos para descarte de materiais de classe I necessitam de muito cuidado e fiscalização em sua execução, para que haja o mínimo impacto possível no meio ambiente, porém, com a reinserção de uma parte deles nos processos produtivos que os originou, no caso os provenientes das soldagens em materiais de aço inoxidável novamente em seus processos de fabricação, geraria tanto a economia quanto ao não mais descarte desse resíduo tóxico, bem como na diminuição de gastos nas posteriores fabricações dessa liga metálica, reduzindo impactos ambientais.

CONCLUSÕES

O presente trabalho partiu da premissa de que a reutilização dos resíduos de Níquel e Cromo provenientes do processo de solda, apresentam crescimento exponencial dos seus respectivos valores em larga escala, gerando assim economia e contribuindo significativamente com a preservação do meio ambiente, uma vez que possuem características tóxicas e sua disponibilidade na natureza é finita. Espera-se que haja conscientização e sensibilização junto ao tema e que o mesmo seja objeto de desenvolvimento em futuras pesquisas aplicado na indústria, contribuindo para a obtenção de dados concretos referentes ao auxílio que traria a implementação da reinserção, seja por ser economicamente viável, quanto na premissa de contribuir no não descarte de metais pesados no meio ambiente, culminando na diminuição dos riscos incorretos deste descarte. Diante do exposto sugere-se a realização de mais pesquisas relacionadas a área.

REFERÊNCIAS

- [1] Fonte, A. (2005). Stainless Steels: An Introduction and Their Recent Developments. Materials Science and Engineering, 65(1), 29-33.
- [2] O mercado do aço no Brasil estima alcançar um volume de 35,3 milhões de toneladas produzidas. [S. l.], 2 fev. 2023. Disponível em: <https://www.portaltts.com.br/o-mercado-do-aco-no-brasil-estima-alcançar-um-volume-de-353-milhoes-de-toneladas-produzidas#:~:text=Com%20sinais%20de%20melhora%20na,3%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas%20produzidas>. Acesso em: 30 out. 2023.
- [3] CÉSAR, Paulo. Soldagem em aço inox: processos e cuidados. Alusolda Brasil, 10 out. 2021. Disponível em: <https://alusolda.com.br/processos-soldagem-aco-inox-cuidados/#:~:text=O%20A%C3%A7o%20inox%20pode%20ser,se%20obter%20uma%20boa%20soldabilidade>. Acesso em: 30 out. 2023.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 10004: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- [5] Resíduos classe I: da coleta até a tratamento e destinação final – Soluções completas para resíduos industriais e de saúde. Disponível em: <https://www.proambientaltecnologia.com.br/residuos-classe-i-da-coleta-ate-a-tratamento-e-destinacao-final/#:~:text=Os%20res>. Acesso em: 30 out. 2023.
- [6] Mercado de cromita e minério de cromo, crescimento e análises da indústria por tipo. [S. l.], 4 ago. 2023. Disponível em: <https://www.businessresearchinsights.com/pt/market-reports/chromite-and-chrome-ore-market-107461>. Acesso em: 30 out. 2023.
- [7] SAIBA como fazer solda em aço inox. [S. l.], 13 set. 2021. Disponível em: <https://elinox.com.br/blog/saiba-como-fazer-solda-em-aco-inox/#:~:text=Os%20processos%20de%20soldagem%20mais,uma%20atmosfera%20de%20g%C3%A1s%20inerte>. Acesso em: 30 out. 2023.
- [8] VIANA, Caroline Espinosa. ESCÓRIAS DE FLUXO DE SOLDAGEM COMO AGREGADO MIÚDO PARA A PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS DE MÚLTIPLO USO. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF, [S. l.], p. 6-7, 1 fev. 2007. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/CAROLINE-ESPINOSA-VIANA.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.
- [9] GROENNER, Patrícia Elaine Moura. REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE FABRICAÇÃO DE CONSUMÍVEIS PARA SOLDAGEM EM TIJOLOS DE CERÂMICA VERMELHA. 2007. Dissertação (Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2007.
- [10] TEORES PSEUDOTOTAIS DE CÁDMIO, NÍQUEL, CHUMBO, CROMO, COBRE, BÁRIO E ZINCO EM PLANTAS DE AVEIA E MILHO E EM SOLO ADUBADO COM CAMA DE

- AVIÁRIO DURANTE SEIS ANOS. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2018
- [11] FAVEIRO, Bruno Matheus. REMOÇÃO DE CROMO DE EFLUENTE GALVÂNICO ATRAVÉS DE ELETROCOAGULAÇÃO E REUSO DO LODO COMO PIGMENTO INORGÂNICO. 2020. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2020.
- [12] PAIXÃO, J.F. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais: Relatório de Pesquisa. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2012, 74 p. Disponível em: <
http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120927_relatorio_residuos_solidos_industriais.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.
- [13] Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política nacional de resíduos sólidos (PNRS). Brasília, DF, 2 ago. 2010.