

**UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –  
DOUTORADO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**SILVIO CESAR FERREIRA DA ROSA**

**ANÁLISE DO ALUMÍNIO ORIUNDO DE RECICLAGEM PÓS  
CONSUMO E SOLDADO A LASER: CONTRIBUIÇÕES PARA  
GERAÇÃO DE VALOR**

Santa Cruz do Sul

2024

Silvio Cesar Ferreira da Rosa

**ANÁLISE DO ALUMÍNIO ORIUNDO DE RECICLAGEM PÓS  
CONSUMO E SOLDADO A LASER: CONTRIBUIÇÕES PARA  
GERAÇÃO DE VALOR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado ou Doutorado, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para o título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>(a)</sup> Dr(a). Liane Mahlmann Kipper

Coorientador: Prof. Dr. Jorge André Ribas Moraes

Santa Cruz do Sul

2024

**Dedico a minha família que nunca me desamparou e aos meus orientadores  
por acreditarem em mim.**

## RESUMO

Partindo-se de um objetivo geral que visa contribuir para uma maior geração de valor agregado sobre o alumínio reciclado, foram realizadas ações como: fusão do metal reciclado pelo processo de fundição à cadinho de carbetto de silício; análise da fusão por espectrometria ótica; refusão por arco elétrico e solidificação acelerada; soldagem a laser por impulso contínuo; análise de resistência elétrica dos conjuntos soldados e comparação dos resultados com ligas comerciais de alumínio, utilizadas para a transmissão de energia elétrica. Esta tese pode ser dividida em três etapas distintas: a primeira etapa engloba uma busca por referências bibliográficas em torno do alumínio, fatores importantes que permeiam a reciclagem deste metal e seus processos de transformação. A segunda etapa visa identificar inovações que estejam surgindo junto aos processos de reciclagem do alumínio. Por fim, a terceira etapa que caracterizou o experimento em si, desde a parte da reciclagem das latas de alumínio, até a apresentação dos resultados obtidos. Os principais resultados alcançados foram: a pesquisa bibliográfica que entregou um conjunto de informações que mostra a reciclagem do alumínio como fator determinante para o atendimento da demanda futura deste metal. Percebeu-se que as inovações existem, mas estão vinculadas aos produtos em desenvolvimento, e não ao processo de reciclagem que, por sua vez, precisa ser trabalhado. Já no experimento sobre o processo de fundição, a separação das ligas 3004/3104 ASTM e 5052/5182 ASTM foi feita e a fusão obteve uma quantidade de apenas 27,27% de escória. A espectrometria ótica revelou pouca compatibilidade do resultado em análise com a liga original, com os percentuais de Si, Fe, Cu, Mg, Cr, Zn e Ti tendo mais de 20% de variação na média. Elementos como o Cr, Zn e Ti, com uma menor capacidade condutiva que o alumínio, estavam inseridos na fusão, provavelmente em função das tintas misturadas ao produto original. A soldagem a laser não influenciou nas medições de resistência elétrica. Além disso, as avaliações totais, de resistividade elétrica do material reciclado e soldado a laser, ficaram em  $6,62 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$  em média.

**Palavras-chave:** Alumínio, Reciclagem, Condutividade/ Resistência/ Resistividade Elétrica, Fundição, Soldabilidade, Geração de valor agregado.

## **ABSTRACT**

### ***ANALYSIS OF ALUMINUM FROM POST-CONSUMER RECYCLING AND LASER WELDING: CONTRIBUTIONS TO VALUE GENERATION***

*Starting from a general objective that aims to contribute to a higher value-added generation about the recycled aluminum, actions were performed such as: fusion of the metal recycled by the process of foundry to the silicon carbide crucible; fusion analysis by optical spectrometry; refusion by electric arc and accelerated solidification; laser welding with continuous impulse; electrical resistance analysis of the welded sets and comparison of results with commercial aluminum alloys, used for the transmission of electricity. This thesis can be divided into three distinct steps: the first step encompasses a search for bibliographic references around aluminum, important factors that permeate the recycling of this metal and its transformation processes. The second step aims to identify innovations that are emerging from the aluminum recycling processes. Finally, the third step that characterized the experiment itself, from of the part of the aluminum cans recycling to the presentation of the results obtained. The main results achieved were: the bibliographic research that delivered a set of information that shows aluminum recycling as a determining factor for meeting the future demand of this metal. It was noticed that innovations exist, but are linked to developing products, not the recycling process that, in turn, needs to be worked. In the experiment on the casting process, the separation of alloys 3004/3104 ASTM and 5052/5182 ASTM was made and the merger obtained only 27.27% slag. Optical spectrometry revealed little compatibility of the result under analysis with the original league, with the percentages of Si, Fe, Cu, Mg, Cr, Zn and Ti having more than 20% variation on average. Elements such as Cr, Zn and Ti, with a lower conductive capacity than aluminum, were inserted in the merger, probably in function of the paints mixed with the original product. Laser welding did not influence electrical resistance measurements. In addition, total reviews of electrical resistivity of recycled material and laser soldier were at  $6.62 \times 10^{-8} \Omega m$  on average.*

**Keywords:** *Aluminum, Recycling, Electrical Conductivity/ Resistance/ Resistivity, Casting, Weldability, Generation of added value.*

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Classificação das áreas do conhecimento para os artigos publicados a partir de 2001 contendo os termos "Aluminum", "Copper" e "Electricity" na base Scopus. \_\_\_\_\_ 14
- Figura 2 - Fluxograma da metodologia. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3 - Combinações potenciais da pesquisa. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 4 - Fluxograma de pesquisa. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5 - Evolução do alumínio no século XIX. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6 - Percentual de reciclagem de latas de alumínio. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 7 - Mapa mental com um fluxo da bauxita a reciclagem. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 8 - Mapa do software VOSviewer com maiores correlações de autores. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 9 - Quantidade de artigos por autor e força de link. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 10 - Mapa com correlação de palavras-chave. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 11 - Mapa com palavras-chave "recycling" e suas correlações. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 12 - Mapa com palavras-chave "aluminum alloys" e suas correlações. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 13 - Cronologia dos aspectos relevantes encontrados na literatura. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 14 - Correlações entre as palavras-chave encontradas. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 15 - Reciclagem e suas interligações diretas (a = superior), e Alumínio e suas interligações diretas (b = inferior). \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 16 - Correlação dos 54 autores selecionados. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 17 - (a = acima à esquerda) Correlação de autores de Wang, J., (b = acima à direita) correlação de autores de Zhang, Y., (c = abaixo à esquerda) correlação de autores de Wang, Y. e (d = abaixo à direita) Correlação de autores de Liu, Y. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 18 - Macrofluxo das etapas desenvolvidas durante o desenvolvimento da tese. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 19 - Corpo de prova moldado no mini forno à arco da marca Edmund Bühler, modelo MAM1. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 20 - Corpo de prova já soldado a laser. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**

## LISTA DE TABELAS E QUADRO

- Tabela 1 - Palavras-chave de pesquisa. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 2 - Palavras-chave após a filtragem do VOSviewer. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 3 - Composição química para bobina de tiras de alumínio para corpos de latas. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 4 - Composição química para bobina de tiras de alumínio para tampas de latas. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 5 - Resumo dos pesos das latas cortadas. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 6 - Análise da espectrometria feita sobre as tampas das latas. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 7 - Análise da espectrometria feita sobre corpos das latas. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 8 - Dados coletados sobre as medições de resistência em dois corpos de prova soldados entre si a laser. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 9 - Dados coletados sobre as medições de resistência em quatro corpos de prova soldados entre si a laser. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 10 - Teste de dureza Rockwell H. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**
- Quadro 1 - Protocolo PRISMA. \_\_\_\_\_ **Erro! Indicador não definido.**

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\Omega\text{m}$	Ohm x metro
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ACV-S	Avaliação de Ciclo de Vida Social
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
Al	Alumínio
As	Arsênio
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
Cd	Cádmio
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
EPI	Equipamento de proteção individual
Fe	Ferro
Ga	Gálio
GEE	Gás de Efeito Estufa
g	Grama
In	Índio
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
kg	Quilograma
mBar	Milibar
Mg	Magnésio
mm	Milímetro
Mn	Manganês
NBR	Norma Brasileira
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
Si	Silício
Sn	Estanho
Ti	Titânio
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNISC	Universidade de Santa Cruz do Sul
V	Vanádio
W/(m.K)	Watts / (metro x Kelvin)
YAG	<i>Yttrium Aluminium Garnet</i>
Zn	Zinco



# SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	11
2 - OBJETIVOS.....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
2.1 - Objetivo Geral .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2 - Objetivos específicos.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
3.1 - ARTIGO 1 - Alumínio – uma análise do seu contexto histórico, da reciclabilidade à transmissão energética.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.1 - Introdução .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.2 - Metodologia.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3 - Resultados e discussões.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3.1 - Revisão narrativa da literatura .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3.1.1 - Histórico do alumínio .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3.1.2 - Fundição do alumínio .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3.1.3 - Reciclagem do alumínio.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3.1.4 - Condutividade e resistividade do alumínio reciclado .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3.1.5 - Soldagem do alumínio .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3.2 - Análise de autores sobre a revisão bibliográfica estruturada.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.3.3 - Análise dos documentos selecionados na metodologia .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.4 - Conclusão .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.5 - Agradecimento.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1.6 - Referências do artigo .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2 - ARTIGO 2 - Reciclagem de alumínio, inovações e perspectivas futuras: uma revisão sistemática da literatura.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2.1 - Introdução .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2.2 - Metodologia.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2.3 - Resultados.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2.4 - Análises.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2.5 - Conclusão .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2.6 - Referências do artigo .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4 – METODOLOGIA DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
5 - DELIMITAÇÕES.....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
6.1 - ARTIGO 3 - Análise do Alumínio Oriundo de Reciclagem Pós Consumo e Soldado a Laser: Contribuições para Geração de Valor.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.1.1 - Introdução .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.1.2 - Metodologia.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.1.3 – Resultados e discussões .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.1.4 - Conclusão .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.1.5 - Agradecimentos.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6.1.6 - Referências .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
7.1 – Trabalhos futuros .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

8 - ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O DOUTORADO *Erro! Indicador não definido.*

9 - REFERÊNCIAS..... **15**

## 1 - INTRODUÇÃO

Com o advento da eletricidade, um novo metal começou a ser produzido em larga escala, o alumínio. Agora com o aumento do consumo de energia elétrica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024), este mesmo alumínio se torna um dos principais atores neste cenário da transmissão e condução da energia elétrica. Contudo, não se tem como falar simplesmente deste metal, sem se entender a sua história.

A bauxita é o principal minério do qual o alumínio é extraído, sendo que para obter-se uma tonelada de alumínio são necessárias de 4 a 5 toneladas de bauxita (HASHIMOTO, 1982). No início do século XIX, este metal era difícil de se obter, sendo mais caro que o próprio ouro (RICHARDS, 1901). Após isso, a criação da bateria elétrica, possibilitou a separação do alumínio através da eletrólise, descoberta por Hall e Heroult em 1886 (ASHKENAZI, 2019). A eletrólise do alumínio ocorre quando a alumina é dissolvida em eletrólito e, passa por ela, uma corrente elétrica, dividindo o alumínio (LORENTSEN, 2014). Com as melhorias deste método, criadas posteriormente, a produção foi facilitada e barateada (RICHARDS, 1901). Com o passar dos anos, a quantidade de alumínio produzida por ano aumentou de 71 toneladas, em 1889, para 7.000 toneladas em 1900 (RICHARDS, 1901).

A bauxita, origem do alumínio, é um minério muito abundante, sendo encontrado em aproximadamente 8% da crosta terrestre (RUNGE, 2018). Já o cobre, estima-se que sua quantidade na crosta terrestre seja de 0,08% (KESLER; WILKINSON, 2008). Por este motivo, o alumínio é utilizado em substituição do cobre na produção de condutores térmicos ou elétricos (WANG *et al.*, 2020). Em relação a condutividade elétrica, o alumínio possui valor próximo (64%) ao cobre, sendo que sua densidade é menor (MESSNER, 2002). Contudo, o cobre possui uma condutividade térmica e elétrica maior do que a do alumínio, sendo ainda hoje, em condições ambientais normais (temperatura 21°23°C e pressão ao nível do mar), o metal conhecido com maior condutividade (YAO; WU; LIU, 2015).

O alumínio possui maleabilidade e por este motivo é utilizado, por exemplo, em tampas de garrafas de leite, e em outros lacres para alimentos (ODULARU; AJIBADE; ONIANWA, 2013). Porém sua maleabilidade ainda é menor do que a do cobre, fato que dificulta, por vezes, a substituição em sistemas e fiações, onde é desejável fios resistentes e flexíveis. A partir do surgimento do alumínio houve um desenvolvimento expressivo da indústria, pois ele possui

inúmeras aplicações, além de melhores propriedades em comparação com o aço, como: baixa densidade, baixo ponto de fusão, condutividade elétrica mais alta, resistência à corrosão, entre outras (KOLBEINSEN, 2020). Em virtude das suas propriedades, ele é escolhido estrategicamente pelas empresas (MILANI; TIMELLI, 2023). O alumínio é muito utilizado para peças de automóveis (SHANKAR *et al.*, 2022), para fabricação de latas a partir da década de 1950 (ALSAFFAR; BDEIR, 2008), para a manufatura aditiva a partir de 1990 (FIOCCHI; TUISSI; BIFFI, 2021), para embalagens (KOLBEINSEN, 2020), entre muitas outras aplicações.

O alumínio tem a possibilidade de ser 100% reciclado. A sua reciclagem iniciou na década de 1960 com a sucata de alumínio que restava das indústrias (SCHLESINGER, 2013). É possível utilizar somente 5% da energia para reciclá-lo, quando se compara com o processo de obtenção primário (MACHADO, 2007). A reciclagem do alumínio possui benefícios sociais e econômicos, como: empregos, venda dos resíduos de alumínio, geração de outros processos produtivos de reciclagem, entre outros (MACHADO *et al.*, 2014). Já o meio ambiente também é afetado com a extração e produção do alumínio primário, sendo este um grande motivo para a sua reciclagem (PEREZ-RANGEL; FLOREZ-SOLANO; ESPINEL-BLANCO, 2020).

O processo de reciclagem não é algo novo, mas o seu contexto precisa ser melhor entendido para que se possa melhorá-lo. Com o desenvolvimento dos centros urbanos, aumentou-se a geração de resíduos pela população, conseqüentemente, gerando uma pressão em relação ao meio ambiente e a qualidade de vida humana (SANTOS *et al.*, 2011). Os catadores de materiais recicláveis são trabalhadores que recolhem os resíduos sólidos urbanos, gerando seu sustento através da reciclagem dos materiais (PEDRO e SOUZA, 2014). Para a população de baixa renda, a coleta seletiva é uma importante fonte de renda para as famílias, observando-se assim um aumento constante no número de catadores ao longo dos anos (OKANO e PANZA, 2020).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, lei 12.305 elaborada em 02 de agosto de 2010, a coleta seletiva abre oportunidade para a formação de associações e cooperativas, sendo de extrema importância para a destinação correta de resíduos sólidos. As cooperativas são importantes para a diminuição de problemas relacionados ao meio ambiente, pois podem coletar e destinar os resíduos sólidos (SANTOS *et al.*, 2011). Elas também podem funcionar de formas diferentes, mas normalmente, a atividade se inicia primeiramente com a coleta de materiais, depois estes são encaminhados para a cooperativa para que seja realizada a

separação e prensagem, que são posteriormente pesados e depois são vendidos para serem processados em indústrias (FERREIRA; KINTSCHNER; SUGAHARA, 2022). Na maioria das vezes, as cooperativas encaminham os materiais para atravessadores, que recolhem em menores quantidades, até formarem um volume, ou quantidade de materiais, que interessam às empresas recicladoras; estas por sua vez, possuem um contato mais próximo com as indústrias (REBEHY *et al.*, 2017).

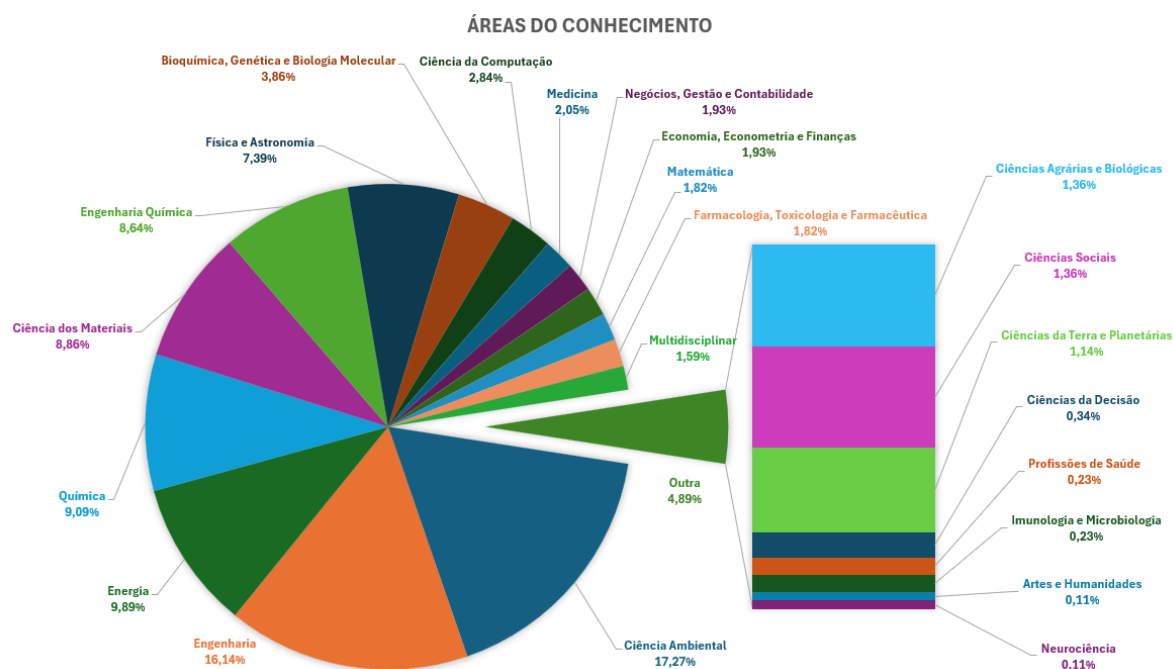
Existe um grande problema em relação ao desempenho das cooperativas de materiais recicláveis, pois há muita heterogeneidade entre os cooperados, gerando uma dificuldade de gerenciamento da cooperativa (FERREIRA; KINTSCHNER; SUGAHARA, 2022). Os catadores de materiais recicláveis, muitas vezes, são excluídos dos processos de reciclagem pelas diferentes organizações institucionais de cada município, mesmo havendo potencial para a melhoria do mercado da reciclagem (REBEHY *et al.*, 2017). De acordo com Schneider, Costa e Mesquita (2017), os catadores vivem e trabalham em situações vulneráveis, sofrendo com diversas carências e sendo alvos de preconceito e exclusão da sociedade.

Os catadores formais e informais possuem um baixo nível de escolaridade e em algumas pesquisas é possível observar essas informações. Na pesquisa de Pedro e Souza (2014), em uma cooperativa com vinte e cinco catadores, três não são alfabetizados, dezenove possuem ensino fundamental incompleto e três possuem ensino médio completo. Na pesquisa de Braz *et al.* (2012), 81,5% dos catadores de uma cooperativa responderam um questionário sobre sua escolaridade, indicando que 7,4% deles se declaram analfabetos e 74,1% não terminaram o ensino fundamental. Aramian *et al.* (2022) também ressalta em sua pesquisa que na cooperativa de seu estudo, a maioria dos cooperados não possuía ensino fundamental completo, 71,1% das mulheres e 56,1% dos homens. É possível verificar que pelos catadores não possuírem o nível de escolaridade que normalmente é exigido no mercado de trabalho (ensino médio), eles acabam trabalhando com atividades menos nobres e que não exigem tanto conhecimento técnico para desenvolver suas habilidades, o que resulta em serviços mais braçais ou de atividades físicas pesadas, como puxar e empurrar resíduos e prensá-los, pois, é um trabalho que não exige um nível mínimo de escolaridade (PEDRO e SOUZA, 2014).

Em algumas cooperativas, os catadores não possuem informações suficientes a respeito de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e/ou não querem fazer uso dos que são disponibilizados, havendo cooperativas que não possuem condições de adquirir os EPI's também. De acordo com Pedro e Souza (2014), em sua pesquisa realizada em uma cooperativa,

a maioria dos cooperados disseram que utilizam os EPI's corretamente, mas no momento da aplicação dos questionários não estavam usando os EPI's determinados para determinadas atividades. Alguns estavam somente com luva, outros apenas de botina, sendo que os catadores que são independentes disseram que não utilizam nenhum equipamento de proteção.

Entre as atividades desenvolvidas pelos catadores das cooperativas está a segregação dos diversos tipos de materiais, inclusive do alumínio e suas ligas, porém a substituição do cobre pelo alumínio perpassa cenários ambientais, econômicos e sociais. Estes cenários despertam a atenção de um público cada vez maior. Realizando-se uma pesquisa na base de dados Scopus com os termos “Aluminum”, “Copper” e “Electricity”, verificou-se que a partir de 2001 a quantidade de artigos que abordaram os três termos aumentou, saindo de 07 documentos em 2001 para 53 em 2023. A Figura 1 ilustra as áreas do conhecimento em que os artigos foram classificados.



**Figura 1** - Classificação das áreas do conhecimento para os artigos publicados a partir de 2001 contendo os termos “Aluminum”, “Copper” e “Electricity” na base Scopus. Fonte: (SCOPUS, 2024).

Já na parte relacionada às patentes, verificou-se que no período de 1975 a 2000, foram listadas 13.815 patentes, estando, o Japão, em primeiro lugar com 7.962 e os Estados Unidos com 3.826. De 2001 a 2024 foram encontradas 133.096 patentes, agora com os Estados Unidos tendo 78.311 e o Japão com 33.767, fato que pode corroborar a justificativa desta tese.

## 9 - REFERÊNCIAS

ABAL, A. B. do A. **ABAL - Associação Brasileira do Alumínio**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao>. Acesso at: 2023.

ABAL, A. B. do A. **Processos de Produção**. Abal, , 2024. Disponível em: <https://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/>. Acesso at: 2024.

AKSÖZ, S.; ÖZTÜRK, E.; MARAŞLI, N. The measurement of thermal conductivity variation with temperature for solid materials. **Measurement**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 161–170, 2013.

AL MAHMOOD, A.; HOSSAIN, R.; BHATTACHARYYA, S.; SAHAJWALLA, V. Recycling of polymer laminated aluminum packaging (PLAP) materials into carbonaceous metallic microparticles. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 269, p. 122157, 2020.

AL-ALIMI, S.; LAJIS, M. A.; SHAMSUDIN, S.; CHAN, B. L.; MOHAMMED, Yahya.; AL-SHAIBANI, N.; WAGIMAN, A.; ISMAIL, A. E. Development of Metal Matrix Composites and Related Forming Techniques by Direct Recycling of Light Metals: A Review. **International Journal of Integrated Engineering**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 144–171, 2020.

ALMEIDA, K. M.; GADIOLI, M. C. B.; DE AGUIAR, M. C.; MAIOR, G. R. de S.; VIDAL, F. W. H. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM CERÂMICA VERMELHA. **HOLOS**, [s. l.], v. 7, n. 39, 2023.

ALSAFFAR, K. A.; BDEIR, L. M. H. Recycling of Aluminum Beverage Cans. **Journal of Engineering and Development**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 157–163, 2008.

ALUBAR ALTEC. Catálogo Técnico Condutores Elétricos de Alumínio Aluminum Electrical Conductors. **Alubar Altec**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: Acesso at: 16 May 2024.

AMERICAN FOUNDRY SOCIETY. **Home**. , [s. d.]. Disponível em: <https://www.afsinc.org/>.

ANDRADE JÚNIOR, F. P.; DE SOUSA, J. M. M.; MAGALHÃES, H. I. F.; LIMA, E. de O.

SOBREVIVENDO NA CIÊNCIA EM TEMPOS DE PANDEMIA: COMO LIDAR?. **Holos**, [s. l.], v. 4, p. 1–14, 2021.

ANDRADE, M. L. A.; VIEIRA, J. R. M.; CUNHA, L. M. da S. **Latas para cervejas e refrigerantes: o desafio alumínio x aço**. [S. l.: s. n.], 1998. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2480>. .

ARAMIAN, Clarisse Budakian *et al.* Correlação do perfil de cooperativas de reciclagem com sua gestão: estudo de caso. **Conjecturas**, v. 22, n. 13, p. 1024-1046, 2022.

ARKSEY, H.; O'MALLEY, L. Scoping studies: Towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 19–32, 2005.

ASHKENAZI, D. How aluminum changed the world: A metallurgical revolution through technological and cultural perspectives. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 143, n. C, p. 101–113, 2019.

ASTM B209/B209M – 21; Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate; **ASTM International**; 2021; <https://www.astm.org/>

ASTM B221 – 21; Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Extruded Bars, Rods, Wire, Profiles, and Tubes; **ASTM International**; 2021; <https://www.astm.org/>

BACELAR, V. K. S. S.; AO, G.; SIQUEIRA, T. amara T. A.; TORRES, E. da S.; FILHO, B.; VILA, W. D. S.; MAIA, M. B. de S.; FRANCO, E. de S. Perspectivas da atividade anti-inflamatória de *Punica granatum L.* (romã) a luz de uma revisão narrativa. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 20, n. 11, p. 5484–5495, 2023.

BACHUS, G. Background and Early History of a Company Town: Bauxite, Arkansas: A Brief History of the Aluminum Industry. **The Arkansas Historical Quarterly**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 330–357, 1968.

BAHRAMI, A.; SOLTANI, N.; PECH-CANUL, M. I.; ERREZ, G. Development of metal-matrix composites from industrial/agricultural waste materials and their derivatives. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 143–208, 2015.

BLACHA, L.; SMALCERZ, A.; WECKI, B.; LABAJ, J.; DESISA, D. G.; JODKOWSKI, M.



Comparative Analysis of Lead Removal from Liquid Copper by ICF and CCF Refining Technologies. **Materials**, [s. l.], v. 15, n. 19, p. 7024, 2022.

BRAZ, Regina de F. dos S. *et al.* Perfil sócio-econômico dos catadores de materiais recicláveis organizados em cooperativas de Natal, RN. **Anais dos Encontros Nacionais de Engenharia e Desenvolvimento Social-ISSN 2594-7060**, v. 9, n. 1, 2012.

BRUNER, J. S.; JOLLY, A.; SYLVA, K. (org.). **Play: Its Role in Development and Evolution**. [S. l.: s. n.], 1976. 1976.p. 549–550.

CALEGARI, C. L.; TEIXEIRA, R. L. P.; SILVA, P. C. D. Produção de alumínio secundário: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, [s. l.], v. 10, n. e023013, p. 1–21, 2023.

CAPUZZI, S.; TIMELLI, G. Preparation and Melting of Scrap in Aluminum Recycling: A Review. **Metals**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 249, 2018.

CARTWRIGHT , P. **Recycling Aided by Shortage**. [S. l.]: Financ Times, 1979. 1979.

CHADHA, U.; SELVARAJ, S. K.; PANT, H.; ARORA, A.; SHUKLA, D.; SANCHETI, I.; CHADHA, A.; SRIVASTAVA, D.; KHANNA, M.; KISHORE, R.; PARAMASIVAM, V. Phase Change Materials in Metal Casting Processes: A Critical Review and Future Possibilities. **Advances in Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 2022, n. 1, p. 1–14, 2022.

CHALCO ALUMINIUM, H. **3004 3104 H19 tira de bobina de alumínio para o corpo da lata** . [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.chalcoaluminum.com/pt/knowledge/can-body-coil-strip/>. Acesso at: 14 May 2024.

CHALCO ALUMINIUM, H. **5052 5182 H19 H48 Cans End Aluminum sheet Coil Supplier**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.chalcoaluminum.com/knowledge/can-end-sheet-coil/>. Acesso at: 14 May 2024.

CUI, X.; WU, Y.; LIU, X.; ZHAO, Q.; ZHANG, G. Effects of grain refinement and boron treatment on electrical conductivity and mechanical properties of AA1070 aluminum. **Materials & Design**, [s. l.], v. 86, n. 1, p. 397–403, 2015.

CZERWINSKI, F. Cerium in aluminum alloys. **Journal of Materials Science**, [s. l.], v. 55, n. 1, p. 24–72, 2019.

DASH, S. S.; CHEN, D. A Review on Processing--Microstructure--Property Relationships of Al-Si Alloys: Recent Advances in Deformation Behavior. **Metals**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 609, 2023.

DONOGHUE, A. M.; FRISCH, N.; OLNEY, D. Bauxite Mining and Alumina Refining. **Journal of Occupational & Environmental Medicine**, [s. l.], v. 56, n. Supplement 5S, p. S12–S17, 2014.

DWINGGO SAMALA, A.; USMELDI; TAALI; AMBIYAR; BOJIC, L.; INDARTA, Y.; TSOY, D.; DENDEN, M.; TAS, N.; DEWI, I. P. Metaverse Technologies in Education: A systematic literature review using PRISMA. **International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)**, [s. l.], v. 18, n. 05, p. 231–252, 2023.

ENERGÉTICA, E. de P. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. .

ENGINSOY, H. M.; BAYRAKTAR, E.; KATUNDI, D.; GATAMORTA, F.; MISKIOGLU, I. Comprehensive analysis and manufacture of recycled aluminum based hybrid metal matrix composites through the combined method; sintering and sintering + forging. **Composites Part B: Engineering**, [s. l.], v. 194, n. 1, p. 108040, 2020.

FERREIRA, Denise Helena Lombardo; KINTSCHNER, Fernando Ernesto; SUGAHARA, Cibele Roberta. Sistema de controle de produção e de estoque aplicado às cooperativas de reciclagem. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 18, n. 51, p. 151-165, 2022.

FIOCCHI, J.; TUISSI, A.; BIFFI, C. A. Heat treatment of aluminium alloys produced by laser powder bed fusion: A review. **Materials & Design**, [s. l.], v. 204, n. 1, p. 109651, 2021.

FOECKLER, P.; HENNING, V.; REICHEL, J. **MENDELEY DESKTOP**. LONDRES: Elsevier, 2019. 2019.

FUJINAGA, S.; OHASHI, R.; KATAYAMA, S.; MATSUNAWA, A. Improvements of

welding characteristics of aluminum alloys with YAG laser and TIG arc hybrid system. *In: SPIE PROCEEDINGS*, 2003, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.]: SPIE, 2003.

GALVÃO, T. F.; PANSANI, hais de S. A.; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 335–342, 2015.

GAUSTAD, G.; OLIVETTI, E.; KIRCHAIN, R. Improving aluminum recycling: A survey of sorting and impurity removal technologies. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 58, n. 1, p. 79–87, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 2002.

GONÇALVES, P. R. de L. C.; CASTRO JUNIOR, M. C.; SALES, F. H. S. Propriedades Elétricas e Microestruturais da Alumina Dopada com Nióbia. **HOLOS**, [s. l.], v. 7, p. 1–17, 2020.

GRAWISH, M. E.; GRAWISH, L. M.; GRAWISH, H. M.; GRAWISH, M. M.; HOLIEL, A. A.; SULTAN, N.; EL-NEGOLY, S. A. Demineralized dentin matrix for dental and alveolar bone tissues regeneration: An innovative scope review. **Tissue Engineering and Regenerative Medicine**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 687–701, 2022.

GUO, X. Y.; TIAN, Q. H.; LIU, Y.; YAN, H. J.; LI, D.; WANG, Q. M. Progress in research and application of non-ferrous metal resources recycling. **Zhongguo Youse Jinshu Xuebao/Chinese J Nonferrous Met**, [s. l.], v. 29, n. 9, p. 1859–1901,

HASHIMOTO, H. Bauxite processing in developing countries. Case studies on industrial processing of primary products. **The World Bank**, [s. l.], v. 2, n. 1982, p. 96, 1982.

HILZENTHALER, M.; BIFANO, L.; SCHERM, F.; FISCHERAUER, G.; SEEMANN, A.; GLATZEL, U. Characterization of recycled AISI 904L superaustenitic steel powder and influence on selective laser melted parts. **Powder Technology**, [s. l.], v. 391, n. 1, p. 57–68, 2021.

HOLZSCHUH, G. G.; DÖRR, D. S.; MORAES, J. A. R.; GARCIA, S. B. Metal matrix production: Casting of recycled aluminum cans and incorporation of rice husk ash and magnesium. **Journal of Composite Materials**, [s. l.], v. 54, n. 22, p. 3229–3241, 2020.

HOLZSCHUH, G. G.; MORAES, J. A. e R.; GARCIA, Sergio B.; ZANESCO, I.; KIPPER, L. M.; SCHNEIDER, R. de C. de S. Casting of Recycled Aluminum Cans to Electrical Conductivity Tape Production. **Journal of Waste Management & Recycling Technology**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1–7, 2023.

HUANG, B.; LIU, J.; ZHANG, Q.; LIU, K.; LI, K.; LIAO, X. Identification and Classification of Aluminum Scrap Grades Based on the Resnet18 Model. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 21, p. 11133, 2022.

INDUSCABOS CONDUTORES ELÉTRICOS. **Fios de Alumínio NU CAA (ACSR)**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.induscabos.com.br/produtos/fios-e-cabos-de-aluminio-nu-caa-acsr/>. Acesso at: 16 May 2024.

KASIŃSKA, J.; MATEJKA, M.; BOLIBRUCHOVÁ, D.; KURIŠ, M.; ŠIRANEC, L. Effect of Returnable Material in Batch on Hot Tearing Tendency of AlSi9Cu3 Alloy. **Materials**, [s. l.], v. 14, n. 7, p. 1583, 2021. Disponível em: Acesso at: 17 May 2024.

KERMELI, K.; WEERTER, CRIJNS-GRAUS, W.; WORRELL, E. Energy efficiency improvement and GHG abatement in the global production of primary aluminium. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 629–666, 2014.

KESLER, S. E.; WILKINSON, B. H. Earth's copper resources estimated from tectonic diffusion of porphyry copper deposits. *Geology*, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 255, 2008. Disponível em: Acesso at: 31 May 2024.

KOLBEINSEN, L. The beginning and the end of the aluminium value chain. **Matériaux & Techniques**, [s. l.], v. 108, n. 5–6, p. 506, 2020. Disponível em: Acesso at: 31 May 2024.

KOTADIA, H. R.; QIAN, M.; DAS, A. Microstructural modification of recycled aluminium alloys by high-intensity ultrasonication: Observations from custom Al–2Si–2Mg–1.2Fe–(0.5,1.0)Mn alloys. **Journal of Alloys and Compounds**, [s. l.], v. 823, p. 153833, 2020.

KOZHOVSKA, E. A Review of Main Sustainability Challenges in Aluminium Die Casting Industry. **Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 23–30, 2017.

KRAUCZUK, H. M. Reciclagem. **FESPPR Publica**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 18, 2019.

KUMAR, V.; MILEWSKI, L. Charles Martin Hall and the great aluminum revolution. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 64, n. 8, p. 690, 1987.

LALLANA, M.; TORRUBIA, J.; VALERO, A. Metals for energy & digital transition in Spain: Demand, recycling and sufficiency alternatives. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 205, n. June 2024, p. 107597, 2024. Disponível em: Acesso at: 13 May 2024.

LORENTSEN, O. a. 125 years of the Hall Heroult Process---What Made It a Success? **Molten Salts Chemistry and Technology**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 103–112, 2014.

MACHADO, I. **Processos de Fundição e Sinterização (Metalurgia do Pó)**. , 2014. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/programa.asp>.

MACHADO, C. T. S.; SANTOS, V. da S.; OLIVEIRA, E. A. de A. Q. A Reciclagem de Alumínio Como Vantagem Estratégica de Negócios Em Uma Indústria Metalúrgica: Um Estudo de Caso. **XI INC**, [s. l.], 2007.

MAHFOUD, M.; EMADI, D. Aluminum Recycling - Challenges and Opportunities. **Advanced Materials Research**, [s. l.], v. 83–86, n. 1, p. 571–578, 2009.

MARCA, E. **Índice de reciclagem de latas de alumínio atinge patamar inédito de 100%**. , [s. d.]. Disponível em: <https://embalagemmarca.com.br/>.

MATWEB. **Aluminum 3004-H19**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: [https://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=ec6a8753c110472ebcead3a2f95457ba](https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=ec6a8753c110472ebcead3a2f95457ba). Acesso at: 16 May 2024.

MATWEB MATERIAL PROPERTY DATA. **Search Capabilities for Materials Property Data**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.matweb.com/search/search.aspx>. Acesso at: 16 May 2024.

MENDEZ, P. F.; EAGAR, T. W. **PENETRATION AND DEFECT FORMATION IN HIGH CURRENT ARC WELDING**. [S. l.]: Office of Scientific and Technical Information (OSTI), 2003.

- MESSNER, F. **Material substitution and path dependence: empirical evidence on the substitution of copper for aluminum.** *Ecological Economics*, [s. l.], v. 42, n. 1–2, p. 259–271, 2002. Disponível em: Acesso at: 31 May 2024.
- MILANI, V.; TIMELLI, G. Solid Salt Fluxes for Molten Aluminum Processing---A Review. **Metals**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 832, 2023.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Consumo de energia elétrica teve alta de 8,1% em outubro, mostra dado do MME. **Ministério de Minas e Energia**, [s. l.], 2 Feb. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/consumo-de-energia-eletrica-teve-alta-de-8-1-em-outubro-mostra-dado-do-mme>. Acesso at: 13 May 2024.
- MOHER, D. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **Annals of Internal Medicine**, [s. l.], v. 151, n. 4, p. 264, 2009.
- MOSTAFAEI, A.; ZHAO, C.; HE, Y.; GHIAASIAAN, R.; SHI, B.; SHAO, S.; SHAMSAEI, N.; WU, Z.; KOURAYTEM, N.; SUN, T.; PAUZA, J.; GORDON, J. V.; WEBLER, B.; PARAB, N. D.; ASHERLOO, M.; GUO, Q.; CHEN, L.; ROLLETT, A. D. Defects and anomalies in powder bed fusion metal additive manufacturing. **Current Opinion in Solid State and Materials Science**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 100974, 2022.
- MOUSTAFA, E. B.; AZIZ, A.; TAHA, M. A.; SABER, A.-H. Influence of Graphene and Silver Addition on Aluminum - Thermal Conductivity and Mechanical Properties Produced by the Powder Metallurgy Technique. **Metals**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 836, 2023.
- MSEBAWI, M. S.; LEMAN, Z.; SHAMSUDIN, S.; TAHIR, S. M.; JAAFAR, C. N. A.; ARIFF, A. H. M.; ZAHARI, N. I.; RADY, M. H. The effects of cuo and sio2 on aluminum AA6061 hybrid nanocomposite as reinforcements: A concise review. **Coatings**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 972, 2021.
- NAEEM, M.; FRENCH, P. W.; WATKINS, K. G. High power Nd: YAG laser welding of aluminium alloys. *In: PACIFIC INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF LASERS AND OPTICS, 2004*, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.]: Laser Institute of America, 2004.
- NDT SUPPLY.COM, INC. Conductivity and Resistivity Values for Aluminum & Alloys.

**NDT Supply**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2002. Disponível em: Acesso at: 16 May 2024.

NIKITIN, V. I.; NIKITIN, K. V.; TIMOSHKIN, I. Yu.; BIKTIMIROV, R. M. Synthesis of aluminum alloys from dispersed waste based on aluminum. **Russian Journal of Non-Ferrous Metals**, [s. l.], v. 61, n. 6, p. 632–640, 2020.

NIST. **National Institute of Standards and Technology**. , [s. d.]. Disponível em: <https://www.nist.gov/>.

ODULARU, A. T.; AJIBADE, P. A.; ONIANWA, P. C. **Comparative Study of Leaching of Aluminium from Aluminium, Clay, Stainless Steel, and Steel Cooking Pots**. ISRN Public Health, [s. l.], v. 2013, p. 1–4, 2013. Disponível em: Acesso at: 31 May 2024.

OKANO, Marcelo T.; PANZA, Graziela Bizin. A logística reversa e as cooperativas de reciclagem: um estudo exploratório sob a lente teórica do modelo de negócio. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 2, p. 521-545, 2020.

OLIVEIRA, V. de S.; NASCIMENTO, D. A. do; CASTRO, L. S. de O.; DE SOUZA, T. R. B. Aluminum slag separation process analysis through a vibratory machine in the foundry process. **International Journal for Innovation Education and Research**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. 104–120, 2021.

OMNIDEXMINING. **Fundição em Casca (Shell)**. , 2023. Disponível em: <https://omnidexmining.com/pt-br/fundicao-em-casca-shell>.

OVERSTRAETEN, R. V.; MERTENS, R.; NIJS, J. **Reports on Progress in Physics**, [s. l.], v. 45, n. 10, p. 1041–1111, 1982.

PEDRO, Gláucia Fátima Lopes Ramos; SOUZA, Gerson Martins. Cidadania e as expressões da miséria social: um estudo referente ao perfil dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis em Ceilândia DF. **Outras Palavras**, v. 10, n. 2, 2014.

PEREZ-RANGEL, N. Y.; FLOREZ-SOLANO, E.; ESPINEL-BLANCO, E. Development of the manufacturing technique of crucibles to melt aluminum and improve its physical and mechanical properties by microwave oven. **Journal of Physics: Conference Series**, [s. l.], v. 1708, n. 1, p. 012015, 2020.

PINTO, C.; FERNANDES, R. Fundação em Coquilha. **Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2001.

PIWOWAR-SULEJ, K.; IQBAL, Q. Leadership styles and sustainable performance: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 382, n. 1, p. 134600, 2023.

QIN, R.; YAN, R.-F.; GUAN, Z.-P.; ZHANG, G.-Q.; SONG, J.-W.; REN, M.-W.; WANG, J.-G. Effect of vanadium on Fe-rich phase, mechanical properties and thermal conductivity of hypoeutectic Al-Si alloy. **Materials Research Express**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 026518, 2021.

RAABE, D.; PONGE, D.; UGGOWITZER, P. J.; ROSCHER, M.; PAOLANTONIO, M.; LIU, Chuanlai; ANTREKOWITSCH, H.; KOZESCHNIK, E.; SEIDMANN, D.; GAULT, B.; GEUSER, D.; DESCHAMPS, A.; HUTCHINSON, C.; LIU, Chunhui; LI, Z.; PRANGNELL, P.; ROBSON, J.; SHANTHRAJ, P.; VAKILI, S.; SINCLAIR, C.; BOURGEOIS, L.; POGATSCHER, S. Making sustainable aluminum by recycling scrap: The science of “dirty” alloys. **Progress in Materials Science**, [s. l.], v. 128, n. July, p. 100947, 2022.

RAHIM, S. N. A.; LAJIS, M. A.; ARIFFIN, S. A Review on Recycling Aluminum Chips by Hot Extrusion Process. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 761–766, 2015.

RAKHI, K.; KANG, S.; SHIN, J. Hot-Cracking mechanism of laser welding of aluminum alloy 6061 in lap joint configuration. **Materials**, [s. l.], v. 16, n. 19, p. 6426, 2023.

RAMANATHAN, A.; KRISHNAN, P. K.; MURALIRAJA, R. A review on the production of metal matrix composites through stir casting -- Furnace design, properties, challenges, and research opportunities. **Journal of Manufacturing Processes**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 213–245, 2019.

REBEHY, Perla Calil Pongeluppe Wadhy *et al.* Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 462-473, 2017.

RICHARDS, J. W. Aluminium at the Paris exposition (1900). **Journal of the Franklin Institute**, [s. l.], v. 151, n. 2, p. 107–114, 1901.



RMC, R. M. C. **Stainless steel casting**. 2024, , [s. d.].

ROSA, S. C. F. da; KIPPER, L. M.; MORAES, J. A. R.; EMMEL, A. L. Aluminum Recycling, Innovations and Future Perspectives: A Systematic Literature Review. **IJDR - International Journal of Development Research**, [s. l.], v. 12, n. 02, p. 54035–54039, 2022.

ROSA, S. C. F. da; KIPPER, L. M.; MORAES, J. A. R.; SILVA, A. L. E.; VIÑA, F. Alumínio – uma análise do seu contexto histórico, da reciclabilidade à transmissão energética. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. e3610–e3610, 2024.

ROSA, S. C. F. da; MORAES, J. A. R.; RODRIGUEZ, A. L.; SILVA, A. L. E.; MACHADO, E. L.; KIST, L. T.; BURIN, H. P. Uso alternativo do polietileno oriundo de cooperativas de catadores. **Revista ESPACIOS**, [s. l.], v. 36, n. n° 20, 2015.

RUNGE, J. M. A Brief History of Aluminum and Its Alloys. In: **THE METALLURGY OF ANODIZING ALUMINUM**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 1–63.

Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-72177-4\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-72177-4_1). Acesso at: 31 May 2024.

SAID, O. S.; MORRIS, J. G.; DE ANGELIS, R. J. Effect of extended recovery on the recrystallization characteristics of flash-annealed strip cast 3004 aluminum alloy. **Materials Characterization**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 113–125, 1993.

SALUEÑA BERNA, X.; MARÍN-GENESCA, M.; DAGÀ-MONMANY, J. M. Analysis of the Use of Recycled Aluminum to Generate Green Hydrogen in an Electric Bicycle. **Metals**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 357, 2023.

SANTOS, Jaqueline Guimarães *et al.* A importância das cooperativas de reciclagem na gestão dos resíduos sólidos urbanos: um estudo em uma cooperativa de Campina Grande–PB. **XIV Seminário em Administração**, 2011.

SCHLESINGER, M. E. **Aluminum Recycling**. [S. l.]: CRC Press, 2013. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1201/b16192>. Acesso at: 31 May 2024.

SCHMIDT, A. J.; CHEAITO, R.; CHIESA, M. Characterization of thin metal films via frequency-domain thermorefectance. **Journal of Applied Physics**, [s. l.], v. 107, n. 2, 2010.

SCHNEIDER, Alice Frantz; COSTA, Reinaldo Pacheco da; MESQUITA, Marco Aurélio de.

A atividade dos catadores de materiais recicláveis no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Org & demo**, v. 18, n. 2, p. 105-120, 2017.

SCIENCEDIRECT. **Advanced Search**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/search/entry>. Acesso at: 17 May 2024.

SCOPUS. **Scopus explainer video**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: [https://www.elsevier.com/solutions/scopus?dgcid=RN\\_AGCM\\_Sourced\\_300005030](https://www.elsevier.com/solutions/scopus?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030).

SCOPUS. **What is Scopus**. , 2024. Disponível em: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus?dgcid=RN\textunderscoreAGCM\textunderscoreSourced\textunderscore300005030>.

SELVARAJ, J.; VARUN, V. S.; VIGNESH; VISHWAM, V. Waste heat recovery from metal casting and scrap preheating using recovered heat. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 97, n. 1, p. 267–276, 2014.

SEN, M.; KURT, M. Comparison between laser and TIG welding of electron beam melted Ti6Al4V parts. **Materials Testing**, [s. l.], v. 65, n. 12, p. 1776–1785, 2023.

SHANKAR, K. V.; JEZIERSKI, J.; RAMALINGAM, V. V.; PADMAKUMAR, D.; LEENA, M. R.; AMAL; REGHUNATH, G.; KRISHNAN, R. Investigating the effect of fly ash addition on the metallurgical and mechanical behavior of al-si-mg-cu alloy for engine cylinder head application. **Materials**, [s. l.], v. 15, n. 15, p. 5462, 2022.

SMALC, V; CINA, V.; MRVAR, P. z; SKO, B.; S, K.; C, P. The influence of foundry scrap returns on chemical composition and microstructure development of als<sub>9</sub>cu<sub>3</sub> alloy. **Crystals**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 757, 2023.

SPURK, C.; DIETRICH, F.; HUMMEL, M.; GILLNER, A.; BECKMANN, F.; MOOSMANN, J.; HÄFNER, C. In Situ Synchrotron Investigations of Beam Diameter Influence on Vapor Capillary Formation during Laser Beam Welding of Copper Alloy with a Blue Laser Beam Source. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, [s. l.], v. 8, n. 2, 2024.

SUL MINAS FIOS & CABOS. CA - Condutores de Alumínio – de acordo com NBR7271/ASTM B231M. **Sulminas Fios & Cabos LTDA**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2019.

Disponível em: Acesso at: 16 May 2024.

SUN, H.-C.; CHAO, L.-S. An investigation into the effective heat transfer coefficient in the casting of aluminum in a green-sand mold. **MATERIALS TRANSACTIONS**, [s. l.], v. 50, n. 6, p. 1396–1403, 2009.

SUN, Q.; LYU, C.; ZHANG, W. The relationship between thermal conductivity and electrical resistivity of silty clay soil in the temperature range 20 C to 10 C. **Heat and Mass Transfer**, [s. l.], v. 56, n. 6, p. 2007–2013, 2020.

THE ALUMINUM ASSOCIATION. **About the Aluminum Association**. , [s. d.]. Disponível em: <https://www.aluminum.org/about-aluminum-association>.

TILAK, R. V.; MORRIS, J. G. Studies of the effect of thermomechanical treatments on the supersaturation content of strip-cast aluminum alloy 3004. **Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 73, n. ISSN 0025-5416, p. 139–150, 1985.

TSAKIRIDIS, P. E. Aluminium salt slag characterization and utilization – A review. **Journal of Hazardous Materials**, [s. l.], v. 217–218, n. 1, p. 1–10, 2012. Disponível em: Acesso at: 16 May 2024.

VALENTIM, A. ao R.; DE OLIVEIRA, I. L. RECICLAGEM DE FOLHAS DE ALUMÍNIO EM FORNO À INDUÇÃO. **Revista Gestão Industrial**, [s. l.], v. 7, n. 2, 2011.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, [s. l.], v. 84, n. 2, p. 523–538, 2009.

VAN ECK, N.; WALTMAN, L. **VOSVIEWER**. Leiden Universit, Holanda: Center for Science and Technology Studies, 2020. 2020.

VERRAN, G. O.; KURZAWA, U.; PESCADOR, W. A. Reciclagem de Latas de Alumínio Visando Melhor Rendimento e Qualidade Metalúrgica no Alumínio Obtido. **Revista Materia**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 72–79, 2007.

VIÑA, F. S.; MORAES, J. A. R.; KIPPER, L. M.; DA ROSA, S. C. F.; SILVA, A. L. E.; MARRERO, F. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA SOCIAL E SUAS REPERCUSSÕES NA QUALIDADE DE VIDA DOS CATADORES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA. *Exacta*, [s. l.], 2022a. Disponível em: Acesso at: 17 May 2024.

VIÑA, F. S.; MORAES, J. A. R.; KIPPER, L. M.; QUADROS, A. de. Mapa de fluxo de valor em uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis: estratégia para elevar a produtividade. *Conjecturas*, [s. l.], v. 22, n. 16, p. 721–735, 2022b. Disponível em: Acesso at: 16 May 2024.

WANG, K.; LI, W.; XU, W.; HOU, S.; HU, S. Simultaneous improvement of thermal conductivity and strength for commercial A356 alloy using strontium modification process. *Metals and Materials International*, [s. l.], v. 27, n. 11, p. 4742–4756, 2020.

WANG, J.; XU, Z. Environmental friendly technology for aluminum electrolytic capacitors recycling from waste printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials*, [s. l.], v. 326, p. 1–9, 2017.

WILLIAMS, T. I. Aluminium: Latecomer to the metal industry. *Endeavour*, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 89–93, 1993.

WORLD ALUMINIUM. Primary aluminium production - International Aluminium Institute. International Aluminium Institute - Through the IAI, the Aluminium Industry Aims to Promote a Wider Understanding of Its Activities and Demonstrate Both Its Responsibility in Producing the Metal and the Potential Benefits to Be Realised through Their Use in Sustainable Applications and through Recycling. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <http://www.world-aluminium.org/statistics/>. .

WU, J.; DJAVANROODI, F.; GODE, C.; ATTARILAR, S.; EBRAHIMI, M. Melt refining and purification processes in Al alloys: A comprehensive study. *Materials Research Express*, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 032001, 2022.

YANG, H.; TAO, X.; BA, X.; CHENG, Z.; LIU, L. Study on coupling characteristics of different welding modes in laser-double TIG hybrid welding. *Optics & Laser Technology*, [s. l.], v. 167, p. 109621, 2023.

YAO, Y.; WU, H.; LIU, Z. **A new prediction model for the effective thermal conductivity of high porosity open-cell metal foams**. *International Journal of Thermal Sciences*, [s. l.], v.

97, p. 56–67, 2015. Disponível em: Acesso at: 31 May 2024.

ZHANG, Y.; LI, Y.; LUO, Z.; YUAN, T.; BI, J.; WANG, Z. M.; WANG, Z. P.; CHAO, Y. J. Feasibility study of dissimilar joining of aluminum alloy 5052 to pure copper via thermo-compensated resistance spot welding. **Materials & Design**, [s. l.], v. 106, p. 235–246, 2016.

ZHANG, J.; SHAO, P.; WANG, X.; FAN, D. Improving weld penetration by two-TIG arc activated via mixing oxygen into shielding gas. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 125, n. 1–2, p. 169–181, 2022.

ZHANG, Z.; YANG, L.; ZHAO, S.; XIA, X.; WANG, Z.; LI, Y.; YIN, S.; DU, X. Effects of stirring speed and flux composition on the recycling of aluminium foams. **Materials Research Express**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. 106516, 2022.

ZHOU, W.; CLEAVER, C. J.; DUNANT, C. F.; ALLWOOD, J. M.; LIN, J. Cost, range anxiety and future electricity supply: A review of how today’s technology trends may influence the future uptake of BEVs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 173, p. 113074, 2023.

ZHOU, Y.; ZHANG, X.; ZHONG, G.; ZHANG, J.; YANG, Y.; KANG, D.; LI, H.; JIE, W.; SCHUMACHER, P.; LI, J. Elucidating thermal conductivity mechanism of Al-9Si based alloys with trace transition elements (Mn, Cr, V). **Journal of Alloys and Compounds**, [s. l.], v. 907, p. 164446, 2022.

ZHU, X.; AI, S.; LU, X.; LING, X.; ZHU, L.; LIU, B. Thermal conductivity of closed-cell aluminum foam based on the 3D geometrical reconstruction. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, [s. l.], v. 72, p. 242–249, 2014.

ZHU, Y.; CHAPPUIS, L. B.; DE KLEINE, R.; KIM, H. C.; WALLINGTON, T. J.; LUCKEY, G.; COOPER, D. R. The coming wave of aluminum sheet scrap from vehicle recycling in the United States. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 164, p. 105208, 2021.

ZHUANG, X.; WANG, Y.; WANG, R.; MA, E.; GU, W.; BAI, J.; ZHANG, C. Thermal treatment of liquid crystal display panel scraps: The metals migration and potential

environmental risk in solid residue. **Waste Management**, [s. l.], v. 94, p. 49–57, 2019.