



ANDRÉ WESLEI DE OLIVEIRA COSTA

**PRODUÇÃO DE PEÇA ORNAMENTAL DE ALUMÍNIO
RECICLADO UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D PARA
CONFECÇÃO DO MODELO**

LAVRAS – MG

2021

ANDRÉ WESLEI DE OLIVEIRA COSTA

**PRODUÇÃO DE PEÇA ORNAMENTAL DE ALUMÍNIO RECICLADO
UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D PARA CONFECÇÃO DO MODELO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr. Leonardo Pratavieira Deo

Orientador

LAVRAS – MG

2021

**Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos
da Biblioteca Universitária da UFLA**

Costa, André Weslei de Oliveira

Produção de Peça Ornamental de Alumínio Reciclado
Utilizando Impressão 3D para Confecção do Modelo / André
Weslei de Oliveira Costa. – Lavras : UFLA, 2021.

51 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel)–Universidade
Federal de Lavras, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Pratavieira Deo.

Bibliografia.

1. Produção de peça ornamental. 2. Alumínio reciclado.
3. Modelo impresso em 3D. I. Deo, Leonardo Pratavieira. II. Título.

ANDRÉ WESLEI DE OLIVEIRA COSTA

**PRODUÇÃO DE PEÇA ORNAMENTAL DE ALUMÍNIO RECICLADO
UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D PARA CONFECÇÃO DO MODELO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

APROVADA em 26 de Março de 2021.

Prof. Filipe Augusto Gaio de Oliveira UFLA

Prof. Dr. Osmar de Sousa Santos UFLA

Prof. Dr. Leonardo Pratavieira Deo
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

Este trabalho é dedicado à toda minha família, amigos e professores pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial: a Deus, pela saúde e oportunidades oferecidas. Ao meu orientador Dr. Leonardo Pratavieira Deo pela importante orientação e instrução durante o trabalho. Meu pai, minha mãe, meu irmão, minha irmã e meu cunhado pelo apoio e conselhos nos momentos de dificuldade e as minhas sobrinhas pela alegria que a existência delas me proporciona. Aos meus amigos e professores da UFLA pela minha formação acadêmica e profissional. Aos funcionários da UFLA pelo bom serviço prestado.

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma visão experimental do processo de fundição por areia verde, um dos principais processos de reciclagem de sucatas de alumínio, onde a peça ornamental foi preparada de alumínio utilizando-se um modelo confeccionado por impressão 3D. O trabalho teve como objetivo aplicar uma abordagem prática do processo de fundição por areia verde, explicitando cada etapa e técnica para se obter peça final. O metal foi fundido em um forno a cadinho basculante, utilizando para moldagem uma caixa molde de madeira, confeccionada artesanalmente, e areia verde própria para fundição. O lingote de alumínio fundido foi obtido por meio de reciclagem de sucatas de perfil, visando reduzir os impactos ambientais e os custos, uma vez que podem ser produzidas peças com inúmeras geometrias utilizando material reciclado. As análises da peça ornamental se mostraram satisfatórias em comparação ao modelo utilizado, com aparência física e variações dimensionais adequadas, possibilitando assim futuros estudos em processos de fabricação, reciclagem e em outros projetos na Universidade Federal de Lavras.

Palavras-chave: Peça Ornamental. Alumínio. Reciclagem. Fundição. Areia Verde. Impressão 3D.

ABSTRACT

In this study, an experimental view of the green sand casting process is presented, one of the main aluminum scrap recycling processes, where the ornamental piece was prepared from aluminum using a model made using 3D printing. The objective of the study was to perform a practical approach of green sand casting process, explaining each step and technique to obtain the final piece. The metal was melted in a tilting crucible oven, using a handcrafted wood mold box for the molding, and green sand suitable for foundry. The cast aluminum ingot was obtained through the recycling of profile scraps, aiming to reduce environmental impacts and costs, since parts with numerous geometries can be produced using recycled material. The analysis of the ornamental piece proved to be satisfactory in comparison to the model used, with adequate physical appearance and dimensional variations, thus enabling future studies on manufacturing, recycling, and other projects in the Federal University of Lavras.

Keywords: Ornamental Piece. Aluminum. Recycling. Foundry. Green Sand. 3D Printing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 – Nível de conscientização da população brasileira sobre tratamento de resíduos. | 15 |
| Figura 3.2 – Representação da sequência de operações na fundição em areia compactada em caixa. | 21 |
| Figura 4.1 – Lingote de liga de alumínio 6063 utilizado para fundição. | 29 |
| Figura 4.2 – Modelo utilizado no projeto. | 30 |
| Figura 4.3 – Areia verde utilizada na fundição. | 32 |
| Figura 4.4 – Caixa inferior de moldagem com desmoldante sobre parte do modelo bi-partido. | 32 |
| Figura 4.5 – Caixa inferior de moldagem após ser coberta e compactada pela areia de faceamento. | 33 |
| Figura 4.6 – Caixa inferior de moldagem com desmoldante sobre parte do modelo bi-partido. | 33 |
| Figura 4.7 – Posição e fixação dos canais de alimentação e respiro. | 34 |
| Figura 4.8 – Partes do molde com o negativo do modelo. | 35 |
| Figura 4.9 – Partes do molde com o negativo do modelo. | 35 |
| Figura 4.10 – Molde finalizado. | 36 |
| Figura 4.11 – Forno basculante utilizado no processo. | 37 |
| Figura 4.12 – Molde após o vazamento do alumínio. | 38 |
| Figura 5.1 – Molde finalizado. | 39 |
| Figura 5.2 – Produto com os canais de alimentação e respiro cortados. | 40 |
| Figura 5.3 – Produto após a rebarbação. | 40 |
| Figura 5.4 – Produto final após realizada a limpeza e polimento. | 41 |
| Figura 5.5 – Modelo utilizado. | 42 |
| Figura 5.6 – Experimento de confecção do molde com areia de praia. | 43 |
| Figura 5.7 – Experimento de confecção do molde com areia verde própria para fundição. | 44 |
| Figura 5.8 – Análise de comparação do produto com o modelo utilizado. | 45 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 – Ligas de alumínio para fundição. | 17 |
| Tabela 4.1 – Lista de materiais. | 28 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | OBJETIVOS | 12 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 12 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 12 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 3.1 | Reciclagem | 13 |
| 3.1.1 | Principais Efeitos Econômicos e Ambientais da Reciclagem | 13 |
| 3.1.2 | Nível de Infraestrutura e Abrangência da Coleta Seletiva | 14 |
| 3.1.3 | Nível de Conscientização da População em Relação à Questão Ambiental | 15 |
| 3.2 | Alumínio e suas Ligas | 16 |
| 3.2.1 | Nomenclatura das Ligas de Alumínio para Fundição | 16 |
| 3.3 | Reciclagem de Alumínio | 17 |
| 3.3.1 | Histórico da Reciclagem de Alumínio | 17 |
| 3.3.2 | Obstáculos na Reciclagem do Alumínio | 18 |
| 3.4 | Processos de Fundição | 19 |
| 3.5 | Fundição em Areia Verde | 20 |
| 3.5.1 | Modelo | 22 |
| 3.5.1.1 | Manufatura Aditiva na Confecção do Modelo | 23 |
| 3.5.2 | Areia de Fundição | 24 |
| 3.5.3 | Moldagem | 25 |
| 3.5.4 | Vantagens e Limitações | 27 |
| 4 | METODOLOGIA | 28 |
| 4.1 | Especificações dos Componentes Utilizados no Projeto | 28 |
| 4.1.1 | Matéria-Prima | 29 |
| 4.2 | Processo de Fabricação do Objeto Ornamental | 30 |
| 4.2.1 | Confecção do Modelo | 30 |
| 4.2.2 | Confecção do Molde | 31 |
| 4.2.3 | Fusão do Alumínio | 36 |
| 4.2.4 | Vazamento do Alumínio e Desmoldagem | 37 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 39 |
| 5.0.1 | Rebarbação e Limpeza | 39 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.1 | Análise do Modelo | 41 |
| 5.2 | Análise do Molde | 42 |
| 5.3 | Análise Geral do Processo e do Produto | 44 |
| 6 | CONCLUSÃO | 47 |
| 6.1 | Sugestões para Trabalhos Futuros | 48 |
| 7 | REFERÊNCIAS | 49 |

1 INTRODUÇÃO

Atualmente há uma grande preocupação da sociedade com as questões ambientais de que os recursos do planeta devem ser utilizados de maneira mais sustentável, levando em conta o crescimento econômico ajustado à proteção do meio ambiente para a atual e futuras gerações.

A responsabilidade ambiental é caracterizada como sendo um conjunto de atitudes, individuais, empresariais ou públicas, voltadas para o desenvolvimento sustentável do planeta. Dentre essas atitudes está a reciclagem.

Como é descrito pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA (2019), o processo de reciclagem é essencial no fluxo da logística reversa, pois é o responsável por transformar os resíduos novamente em matéria-prima por meio de um conjunto de técnicas pelas quais os materiais, que a princípio seriam descartados, são segregados e processados para serem usados como insumos na manufatura de novos produtos.

A utilização de materiais recicláveis no processo fabril traz diversos benefícios ambientais, como a conservação dos recursos naturais, a redução no consumo de energia e a redução na geração de poluentes durante os processos de remanufatura.

Na indústria moderna, o alumínio provou ser muito significativo através do aumento de seu consumo devido as suas características físico-químicas, ou seja, é um material atóxico, resistente e maleável, sendo utilizado como matéria-prima nas indústrias de automobilismo, alimentícia e de construção civil. O alumínio foi introduzido no Brasil com grande sucesso junto aos fabricantes de carrocerias de ônibus, furgões, tanques rodoviários, vagões ferroviários e bicicletas. Essa excelente aceitação deve-se, principalmente, às características do metal, que apresenta peso específico três vezes menor que o do aço, permite a diminuição da emissão de poluentes, amplia a capacidade de carga, reduz o custo do transporte e aumenta a vida útil do veículo (CBA, 2018).

A reciclagem do alumínio é de grande importância para as organizações, principalmente, para aquelas que acreditam em resultados positivos e progressivos. Atualmente, empresas brasileiras do setor de alumínio vêm avançando na utilização sustentável do grande potencial mineral do Brasil, através de investimentos em programas de preservação ambiental, por exemplo. Um dos benefícios que cresce dia após dia dentre as sucatas de alumínio, é a reciclagem de latas de alumínio, que em sua grande maioria são utilizadas pelas indústrias de refrigerantes, sucos e cervejas. Segundo dados do IPEA (2013), esta atividade gera emprego e renda para mais de 400 mil pessoas, desde a coleta até a transformação final da sucata em novos produtos.

Segundo ABAL (2019), a utilização de sucatas de alumínio como matéria-prima para a fundição é importante já que é um material que possui elevado tempo de decomposição na natureza, algo em torno de 200 a 500 anos. Dessa forma, esse material pode ser reciclado por várias vezes sem perda nenhuma de suas características. Do ponto de vista ambiental, sua reciclagem diminui a extração da bauxita do meio ambiente, principal fonte natural de alumínio. Neste contexto, este trabalho propõe a realização de todo processo de fundição em areia verde com a finalidade de reciclar o alumínio para confecção de peças ornamentais, visando a reduzir os impactos ambientais e diminuir custos, uma vez que poderão ser produzidas peças com inúmeras geometrias com material reciclado.

Sendo assim, este trabalho abordará o processo de fabricação por fundição em areia verde com a finalidade de apresentar na prática todas etapas do processo. Nele será estudado e descrito todo o processo, desde a preparação da areia, do modelo, do molde, da fundição e do produto final, e por fim, os resultados obtidos, além de analisar tais resultados com os produtos finais do projeto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma abordagem teórica sobre a importância da reciclagem, tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente, com foco na reciclagem de sucatas de alumínio.

Neste contexto, foi realizado também uma abordagem prática da fundição em areia verde, que consiste em uma das principais etapas da reciclagem de alumínio, e com isso demonstrar a produção de um objeto ornamental por esse método, considerado de baixa complexidade e de baixo custo comparado à outros métodos de fundição.

2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre reciclagem com finalidade de apresentar os principais efeitos econômicos e ambientais, o nível de infraestrutura e abrangência da coleta seletiva, e o nível de conscientização da população em relação à questão ambiental, bem como exibir informações sobre a reciclagem de alumínio em específico, ou seja, seu histórico e seus obstáculos;
2. Retratar o processo de fundição em areia verde, utilizando impressão 3D para confecção do modelo, a preparação de areia de fundição para produção do molde e as etapas de moldagem, além de expor suas vantagens e limitações;
3. Demonstrar por meio de uma abordagem prática a produção de uma peça ornamental com base no método da fundição em areia verde.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos subcapítulos seguintes são apresentados referências que abordam temas sobre reciclagem de um modo geral e em especial a de alumínio, o alumínio e suas ligas, o processo de fundição com foco em areia verde.

3.1 Reciclagem

Com intenso avanço da urbanização e industrialização da sociedade nas últimas décadas, houve também grande crescimento da geração de resíduos. Devido à preocupação ambiental relacionada ao tema, tem aumentado a mobilização coletiva em torno do gerenciamento desses resíduos e o uso intensivo dos recursos naturais.

Com o intenso progresso econômico e industrial, a preocupação com questões ambientais tem se intensificado, destacando que o gerenciamento da produção, a logística reversa e a recuperação dos resíduos sólidos são essenciais para o crescimento sustentável. A logística reversa é o conjunto de ações para que o resíduo pós-consumo retorne para a cadeia produtiva, substituindo matéria-prima virgem. Esse fluxo inclui várias etapas, primeiro a coleta dos resíduos, posteriormente, sua triagem e destinação adequada (reutilização, reciclagem ou compostagem). Com isso, a logística reversa busca, principalmente, diminuir os resíduos depositados nos aterros sanitários ou lixões, e reduzir a extração de matérias-primas (ANCAT, 2018).

Nesse contexto, a reciclagem dos materiais é cada vez mais essencial para um desenvolvimento sustentável.

Dentre os benefícios sociais e ambientais provenientes da reciclagem, pode-se citar como exemplos a redução dos resíduos depositados em aterro, diminuição da exploração de recursos naturais para produção de materiais virgens, geração de renda ao longo da cadeia de logística reversa, entre outros.

3.1.1 Principais Efeitos Econômicos e Ambientais da Reciclagem

De acordo com a Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis - ANCAT (2018) as principais consequências ambientais e econômicas presentes no ato de reciclar são:

- **Minimização da exploração de recursos naturais:** Um dos principais efeitos positivos ao meio ambiente da logística reversa e reciclagem é a redução da extração de recur-

solos naturais para a produção de novos produtos, uma vez que o material pós-consumo é reaproveitado ou processado e reintroduzido na cadeia produtiva;

- **Redução da poluição do solo, água e ar:** A logística reversa e reciclagem reduzem significativamente a poluição do solo, da água e do ar, tanto devido a redução da produção dos materiais quanto à diminuição do descarte inadequado dos resíduos. Ademais, reduz a necessidade de expansão de aterros, e, conseqüentemente, o gasto público relacionado a esse investimento;
- **Redução das emissões de gases do efeito estufa:** A reciclagem também decresce as emissões de gases do efeito estufa, uma vez que reduz a produção dos materiais virgens (plástico, vidro, aço e alumínio), reduzindo também a emissão desses gases na extração da matéria prima para produzir as matérias virgens. Também reduz a geração de gases emitidos durante decomposição dos materiais nos locais de descarte dos resíduos sólidos;
- **Redução do custo de produção:** Outra vantagem da reciclagem, é que o uso de material reciclado como matéria-prima pode gerar redução no custo de produção de novos produtos. Segundo relatório do IPEA (2010) denominado “Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de Resíduos Sólidos”, a matéria-prima reciclada apresenta vantagens econômicas consideráveis sobre a matéria-prima virgem no que diz respeito a custos de produção;
- **Geração de renda:** Além de reduzir o custo de produção de novos produtos, a cadeia de reciclagem gera trabalho e renda para milhares de pessoas, seja pela venda do material reciclado, sejam em razão da força de trabalho mobilizada para a coleta, transporte e triagem do material.

3.1.2 Nível de Infraestrutura e Abrangência da Coleta Seletiva

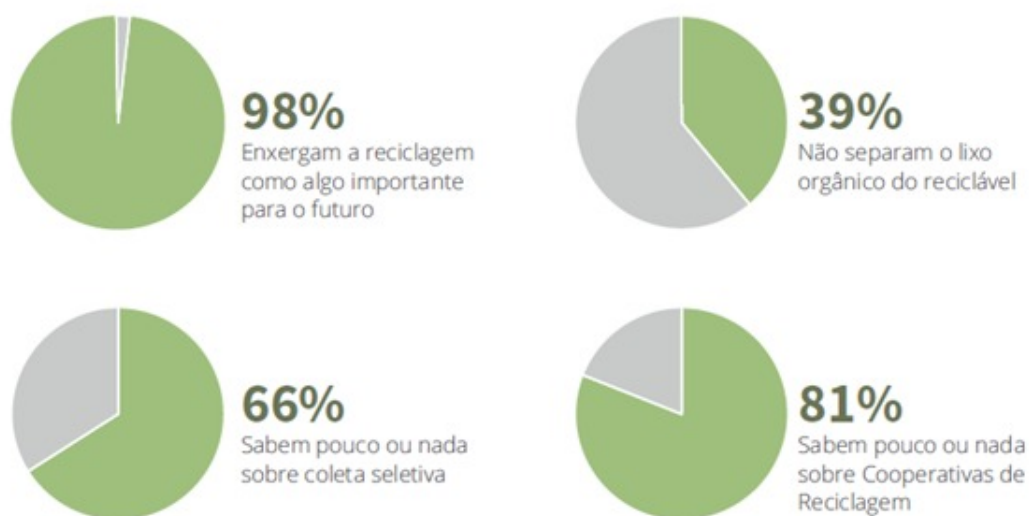
Em 2010, 3.152 municípios registravam alguma iniciativa de coleta seletiva, enquanto na década seguinte esse número aumentou para 4.070 municípios. Importante destacar, porém, que em muitos municípios as atividades de coleta seletiva ainda não abrangem a totalidade de sua área urbana. No Brasil, a maior parte dos resíduos sólidos urbanos coletados segue para disposição em aterros sanitários, tendo registrado um aumento de 10 milhões de toneladas em uma década, passando de 33 milhões de toneladas por ano para 43 milhões de toneladas. (ABRELPE, 2020).

Além disso, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2018), apenas 22% dos municípios do Brasil possuíam coleta seletiva pública, e aproximadamente 15% dos municípios possuem pelo menos uma Cooperativa ou Associação de Catadores de Materiais Recicláveis com incentivo público. Considerando a abrangência da ação de Cooperativas ou de coleta seletiva, 25% dos municípios possuem ao menos uma das formas de coleta.

3.1.3 Nível de Conscientização da População em Relação à Questão Ambiental

Quanto ao nível de consciência da população brasileira, são apresentados na Figura 3.1 dados da pesquisa de percepção dos brasileiros sobre o tratamento de resíduos e a forma como os consumidores podem colaborar com sua gestão correta, realizada pelo Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística - IBOPE (2018).

Figura 3.1 – Nível de conscientização da população brasileira sobre tratamento de resíduos.



Fonte: IBOPE (2018). Elaboração: LCA Consultores.

Apesar das dificuldades, a coleta seletiva vem apresentando melhoras. Segundo dados do Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE (2020), o número de municípios que possui sistema de coleta seletiva mais que triplicou em 10 anos, passando de 405 (apenas 7% do total), em 2008, para 1227 (22% do total), em 2018.

Outros indicadores sobre a gestão de resíduos no Brasil também vêm apresentando melhoras sistemáticas. Para que essa melhora sempre seja continuada é fundamental a participação cada vez mais ativa dos catadores de materiais recicláveis e das cooperativas e associações, bem como a colaboração da população.

3.2 Alumínio e suas Ligas

O alumínio possui uma combinação de propriedades que o tornou um dos metais mais versáteis, econômicos e atrativos para inúmeras aplicações em diversos setores da engenharia (BALDAM, 2014).

Hoje sabe-se que o alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre, segundo dados da ABAL (2019). Seus compostos acham-se concentrados nos 15 km mais externos da crosta e correspondem a cerca de 8% em massa da mesma. Só é menos abundante que o oxigênio e o Silício. Seu minério mais importante é a bauxita.

O alumínio é um metal leve com peso específico de $2,7g/cm^3$, versátil e resistente, obtido do minério bauxita. Quando o alumínio é exposto a oxidantes, forma-se rapidamente na sua superfície uma película fina e protetora de óxido de alumínio (Al_2O_3), conferindo-lhe alta resistência à corrosão. Além disto, o alumínio é um excelente condutor de calor e eletricidade, e possui boa maleabilidade (ABAL, 2019).

Para Baldam (2014), com adições de metais como silício, cobre, manganês, magnésio, cromo, zinco e ferro, o alumínio puro adquire uma série de vantagens como por exemplo fluidez, soldabilidade e usinabilidade.

3.2.1 Nomenclatura das Ligas de Alumínio para Fundição

Pelo sistema de classificação da International Alloy Designation System (IADS), os alumínios estão divididos em duas classes: os alumínios para deformação plástica e os alumínios para fundição.

A nomenclatura das ligas de alumínio para fundição é designada pela norma internacional da Aluminium Association (AA). É composta por quatro dígitos, sendo que o primeiro indica o elemento principal da liga (Tabela 3.1). De acordo com Baldam (2014), o segundo e o terceiro dígitos indicam o teor de alumínio. O último dígito, separado dos demais por um ponto, indica a forma do produto: o número zero indica peças fundidas e o número um indica lingotes.

Tabela 3.1 – Ligas de alumínio para fundição.

| Série | Elemento de liga principal | Principais Vantagens |
|-------|----------------------------|---|
| 1XXX | Alumínio puro | Maleabilidade, resistência à corrosão |
| 2XXX | Cu | Usinabilidade |
| 3XXX | Mn | Fluidez, Resistência |
| 4XXX | Si | Soldabilidade |
| 5XXX | Mg | Resistência à corrosão e boa resistência mecânica |
| 6XXX | Mg, Si | Boa maleabilidade, soldabilidade, resistência mecânica e a corrosão |
| 7XXX | Zn | Excelente resistência mecânica |
| 8XXX | Sn | - |
| 9XXX | Não utilizada | - |

Fonte: Adaptado de Baldam (2014).

3.3 Reciclagem de Alumínio

Nos subtópicos seguintes serão abordados o histórico da reciclagem de alumínio e seus obstáculos.

3.3.1 Histórico da Reciclagem de Alumínio

A reciclagem de alumínio se confunde com a implantação da indústria do metal no país, segundo apresenta ABAL (2019). Na década de 1920, data dos primeiros registros de produção de utensílios de alumínio em território nacional, o setor utilizava como matéria prima a sucata importada de vários países. Nos anos 1990, com o início da produção das latas no Brasil, a reciclagem do metal foi intensificada, registrando volumes cada vez maiores.

Hoje a reciclagem de alumínio no Brasil funciona com altíssimos índices de eficácia, acima da média mundial, reciclando praticamente toda sucata disponível. A relação entre este volume e o consumo doméstico de alumínio indica um percentual de 38,5%, que é superior a média mundial de 27,1% (base 2014). Em 2015, o país reciclou 602 mil toneladas de alumínio. Desse total, 292,5 mil toneladas referem-se à sucata de latas de alumínio para bebidas, o que corresponde a 97,9% do total de embalagens consumidas em 2015, índice que mantém o Brasil entre os países líderes em reciclagem de latinhas desde 2001 (ABAL, 2019).

Segundo o CEMPRE (2020), desde que começou a ser produzida no Brasil, há mais de 30 anos, a lata de alumínio para bebidas e outras sucatas de alumínio sempre esteve vinculada a programas de reciclagem. O objetivo da indústria foi o de garantir o retorno da matéria-prima ao ciclo produtivo e, ao mesmo tempo, de proporcionar benefícios ambientais, sociais e

econômicos como o menor gasto energético envolvido no processo, ou seja, em torno de 5% em comparação com a obtenção de alumínio pelo processo primário. Surgia ali um modelo inicial de logística reversa, o mesmo previsto na atual Política Nacional de Resíduos Sólidos para todos os materiais.

Embalagem que serviu de modelo para o sistema de logística reversa que está sendo implementadas no país, as latas de alumínio para bebidas merecem destaque no cenário da reciclagem dentre as sucatas de alumínio, por terem um ciclo de vida de curta duração. O ciclo de vida da lata de alumínio para bebidas começa na produção e posterior venda ao consumidor e recomeça na reciclagem do metal.

3.3.2 Obstáculos na Reciclagem do Alumínio

O alumínio pode ser reciclado infinitas vezes sem perda de nenhuma de suas características. Depois do consumo, a lata é coletada para reciclagem, entretanto, como demonstram as informações da CEMPRE (2020), para que haja a reciclagem correta do alumínio, deve-se atentar as seguintes limitações:

- **Contaminação:** As latas misturadas com o restante do lixo podem estar contaminadas com matéria orgânica, excesso de umidade, plástico, vidro, areia e outros metais, dificultando sua recuperação para usos mais nobres. As tintas da estamperia da embalagem são degradadas nos fornos de fundição durante o reprocessamento do alumínio e por isso não atrapalham sua reciclagem;
- **Rígidas especificações de matéria-prima:** A sucata não pode conter ferro. O teste do ímã é a melhor técnica para certificar a ausência desse material. Também é possível fazer a identificação e a seleção mais segura por meio de parâmetros como cores, peso e testes químicos. Não é necessário separar os materiais por tamanho ou retirar a tampa, como ocorre em outras embalagens. Antes mesmo dos fardos serem descarregados nas recicladoras, os veículos que transportam a sucata passam por um detector de radioatividade. Se aprovados, os fardos são desmanchados e picotados. Em seguida, as etapas de separação eletromagnética e por diferença de densidade eliminam todos os componentes que não forem alumínio;

- **Incineração:** O alumínio funde-se a 660°C. De acordo com a temperatura, sua queima pode gerar compostos orgânicos voláteis provenientes de tintas ou vernizes e material particulado, ou transformar o material em liga ou óxido de alumínio;
- **Aterro:** As embalagens de alumínio podem apresentar oxidação nos aterros, contaminando o solo e águas subterrâneas.

Após não apresentando tais restringências, a sucata chega aos recicladores na forma de fardos. Antes da etapa de fundição, essa matéria-prima passa por um forno a 550° C que retira tintas, vernizes e óleos dos fragmentos da sucata. Só então o material é fundido à 660° C e despejado em lingoteiras para solidificação ou em painéis para transporte em estado líquido. Nessa etapa, é feita a adição de sobras de alumínio provenientes dos processos industriais de fabricação da chapa e das latas, bem como de alumínio primário para correção da liga. Em seguida esse alumínio fundido é transformado em placas, que serão laminadas em chapas, bobinadas e transportadas para as empresas fabricantes de latas de alumínio para bebidas (CEMPRE, 2020).

3.4 Processos de Fundição

Após apresentar a grande importância da reciclagem tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade, e em especial a reciclagem do alumínio, faz-se necessário apresentar o processo de fundição, que corresponde a principal etapa após a coleta seletiva de sucatas de alumínio e que, assim, será reutilizado em um novo tipo de produto a ser confeccionado.

Fundição é um processo no qual metal fundido flui pela força da gravidade, ou por ação de outra força, num molde em que ele solidifica com a forma da cavidade do molde. O termo fundido é aplicado ao componente ou peça obtido por esse processo. É um dos processos de fabricação mais antigos, remontando seis mil anos. O princípio da fundição parece simples, sendo fundir o metal, vertê-lo no molde e deixá-lo resfriar e solidificar, no entanto, existem vários fatores e variáveis que devem ser considerados para resultar numa operação bem-sucedida (GROOVER, 2016).

Segundo Groover (2016), os processos de fundição de metais são divididos em duas categorias, sendo baseados no tipo de molde, ou seja, em moldes perecíveis e moldes permanentes. Nas operações de fundição que empregam moldes perecíveis, o molde é sacrificado possibilitando a remoção da peça fundida. Porque um novo molde é necessário para cada novo fundido, a produtividade em processos com moldes perecíveis é em geral limitada pelo tempo

necessário para a confecção dos moldes, mais que o tempo de fusão e vazamento propriamente dito. Entretanto, para peças com determinadas geometrias, moldes em areia podem ser produzidos e obtidos fundidos, em taxas de 400 peças por hora ou mais. Em processos de fundição em molde permanente, o molde é fabricado separadamente em metal ou outro material durável e pode ser usado várias vezes para produzir muitos fundidos. Assim, esses processos têm como vantagem natural taxas de produção maiores.

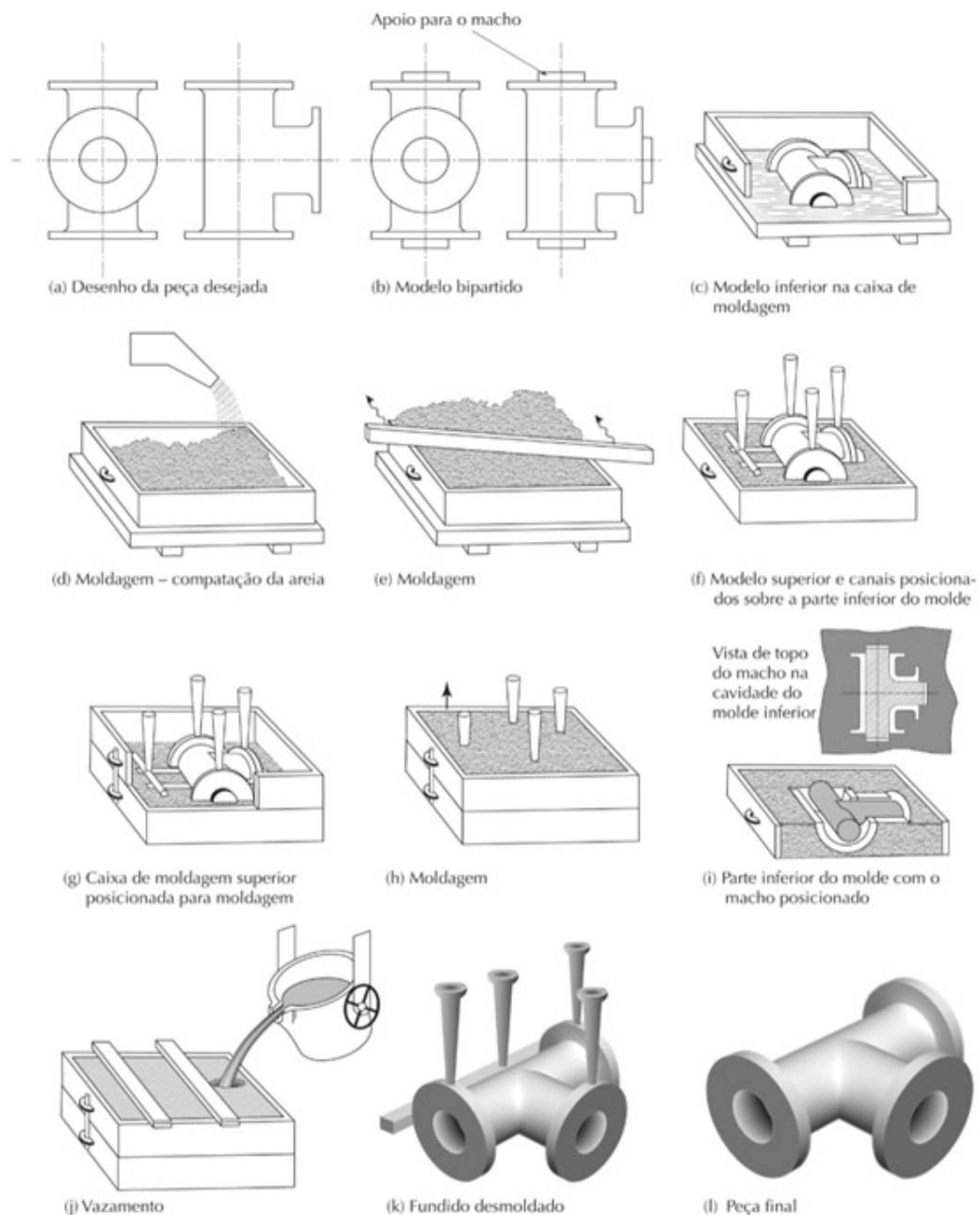
De modo geral, o molde contém a cavidade cuja geometria determina a forma da peça fundida e deve permitir a contração que ocorre no metal durante a solidificação e resfriamento. Moldes são feitos de uma variedade de materiais, incluindo areia, gesso, cerâmica e metal. Assim, para efetuar uma operação de fundição, o metal é primeiro aquecido a uma temperatura elevada o suficiente para convertê-lo totalmente ao estado líquido. Ele é então vazado, ou de outra forma direcionado, à cavidade do molde. Tão logo o metal fundido atinge o molde, ele começa a resfriar. É durante essa etapa do processo que o metal assume a forma sólida da cavidade do molde e que muitas das propriedades e características do fundido são estabelecidas. Uma vez que o fundido se resfriou suficientemente, ele é removido do molde. Dependendo do método de fundição e metal empregados, pode ser necessário processamento posterior, podendo incluir remoção do excesso de metal da peça fundida (rebarbação), limpeza da superfície, inspeção do produto e tratamentos térmicos para melhorar suas propriedades. Adicionalmente, usinagem pode ser necessária para atingir, em certas regiões, tolerâncias dimensionais mais estreitas e para remover a camada superficial do fundido (GROOVER, 2016).

3.5 Fundição em Areia Verde

A fundição em areia é o processo mais utilizado na fundição, responsável pela maioria significativa das toneladas de fundidos produzidos pelas indústrias do mundo todo. Segundo Voltolini (2010) o processo de fundição utilizando a areia verde vai se iniciar a partir da construção de um modelo padrão que tenha proximidades dimensionais da peça final fundida. Posteriormente a areia verde é compactada em torno do modelo, que logo após é totalmente removido para a produção da cavidade do molde. Após esta etapa, o metal deve ser vazado para a cavidade e se solidifica para produzir o material fundido. Após um determinado período, quando o objeto estiver resfriado, é retirado do molde destruindo conseqüentemente o mesmo. Esse processo pode ser manual ou com desmoldadores vibratórios.

Kiminami, Castro e Oliveira (2019) esclarece que as ligas mais comuns utilizadas na fundição em areia são: ferro fundido, aços, ligas de alumínio, ligas de cobre e ligas de magnésio, sendo processadas peças de 200 gramas a 400 toneladas, com limite mínimo de espessura tipicamente de 3 mm para ligas leves e 6 mm para ligas ferrosas. As etapas da fundição em areia por compactação em caixa estão ilustradas na Figura 3.2 e apresentam a seguinte sequência:

Figura 3.2 – Representação da sequência de operações na fundição em areia compactada em caixa.



Fonte: Kiminami; Castro; Oliveira (2019).

1. A partir do desenho técnico da peça a ser fabricada (a) é confeccionado o modelo (b);

2. A primeira parte do modelo bipartido, confeccionado a partir do desenho técnico da peça a ser produzida, é colocada no fundo da caixa de moldagem inferior (c);
3. A areia preparada é compactada sobre o modelo (d) e (e);
4. A segunda parte do modelo é colocada no fundo da caixa de moldagem superior. Os modelos do massalote e canal de alimentação são posicionados (f);
5. A areia preparada é compactada sobre os modelos (g) e (h);
6. O fundo da caixa é retirado juntamente com os modelos e, caso haja partes vazias na peça, são posicionados os machos, confeccionados separadamente (j);
7. As partes superior e inferior do molde são montadas e o metal fundido é vazado (j);
8. A peça junto com os canais de alimentação e massalote é desmoldada (k);
9. Os canais de alimentação e massalotes são cortados e a peça está pronta para usinagem e outras operações como tratamento térmico e acabamento superficial, quando necessário (l).

3.5.1 Modelo

A fundição em areia requer um modelo, ou seja, uma reprodução em tamanho real da peça, com dimensões maiores para considerar a contração de solidificação e as tolerâncias para usinagem da peça fundida acabada. Materiais empregados na confecção de modelos incluem madeira, plásticos e metais. Madeira é o material comumente usado em modelos porque ela é trabalhada com facilidade. Suas desvantagens são que os modelos em madeira tendem a empenar e são erodidos pela areia que é compactada em seu redor, limitando assim o número de vezes que podem ser reutilizados. Os modelos metálicos são mais caros, mas duram mais tempo. Os plásticos representam um meio termo entre a madeira e o metal. A seleção de um material apropriado para um modelo depende, em grande parte, da quantidade total de fundidos a serem produzidos (GROOVER, 2016).

Como demonstra Kiminami, Castro e Oliveira (2019), a confecção do modelo tem que levar em conta os seguintes fatores:

- O material depende do número de moldes a serem confeccionados (madeira, metal, gesso, polímeros);

- As dimensões devem considerar a contração do metal quando resfriar;
- O desenho deve considerar aspectos que facilitam a moldagem (como a conicidade) e que minimizem os defeitos de solidificação (como cantos vivos, variações bruscas de seções, espessura mínima da parede, etc.);
- Se há uso de macho, é preciso prever as cavidades para o respectivo encaixe;
- Projetar o sistema de canais de vazamento e massalotes.

Segundo Groover (2016), modelos bipartidos consistem em duas peças, cujo plano de separação coincide com a linha de partição do molde. Modelos bipartidos são apropriados para peças com geometrias complexas e quantidades moderadas de produção. A linha de partição do molde é predeterminada pelas duas metades do modelo, em vez do julgamento do operador.

3.5.1.1 Manufatura Aditiva na Confecção do Modelo

A prototipagem é uma prática antiga que tem por objetivo materializar fisicamente uma ideia, podendo assim, fazer avaliações físicas de como está sua forma, montagem e usos, e estudar os melhores métodos para fabricação, ou seja, as linha de produção, lista de ferramental, gabaritos, entre outros. Dessa forma, um protótipo é usualmente necessário antes de uma fabricação em larga escala (ARAÚJO et al. 2019).

Segundo Bombana et al. (2017), no sistema de impressão tridimensional o modelo é projetado em um software de desenvolvimento 3D e posteriormente convertido em uma linguagem cuja máquina seja capaz de interpretar, através de sistemas de coordenadas e realizar a impressão do modelo físico. Modelagem e prototipagem estão diretamente ligadas auxiliando no desenvolvimento de ideias e produtos novos para diferentes setores do mercado, sendo esse conjunto um dos principais pilares para os avanços tecnológicos da indústria (SILVA, 2018).

Segundo Volpato (2017), a impressão 3D é o termo utilizado para a manufatura aditiva obtida através de equipamentos de menor custo, trabalhando com a deposição de material em sua forma fundida e fornecendo-o em forma de filamentos com diâmetros constantes de 1,75 mm a 2,85 mm, que podem ser fabricados a partir de diversos materiais, como ABS, PLA, flexíveis e outros desenvolvidos pelo mercado. O equipamento é constituído por um cabeçote de extrusão, uma base, barramentos e uma central de comando. O material é forçado para dentro do cabeçote de extrusão, tem a função de aquecê-lo até seu ponto de fusão, permitindo,

assim, a passagem por um bico calibrado e a deposição do mesmo por roldanas que tracionam, controladamente, o filamento.

Dependendo da construção da máquina, a mesa ou o cabeçote se movimentam nas coordenadas x, y ou z, percorrendo, desta forma, o plano de construção pré-definido na etapa de fatiamento do arquivo STL. Ao ser depositado, o material se funde com a camada inferior, que se solidifica, gerando, assim, um novo contorno ou preenchimento. Seu baixo custo e a facilidade de manutenção são algumas das vantagens deste tipo de equipamento, porém, as geometrias que necessitam de material de suporte tendem a ter um acabamento superficial ruim. As paredes das peças impressas também apresentam uma leve rugosidade, pois a deposição das camadas ao longo do eixo Z deixam ranhuras entre elas. Para peças totalmente lisas, se faz necessário um acabamento final de forma manual (VOLPATO, 2017).

Assim, como demonstra Volpato (2017), a construção de ferramental rápido foi o segmento da manufatura aditiva que permitiu a construção de protótipos funcionais de moldes para diversas finalidades. Indústrias que necessitam de modelos para a produção de lotes de peças podem utilizar alguma forma de construção por manufatura aditiva para obtê-los, dependendo da aplicação e da quantidade de peças desejadas. O setor de fundição tradicional também pode utilizar a tecnologia de manufatura aditiva para a substituição dos modelos protótipos convencionais feitos em madeira, desde que tenham resistência suficiente para suportar o processo de moldagem, e na construção de moldes perdidos, em cera perdida ou no processo de construção direta em areia de fundição.

3.5.2 Areia de Fundição

A areia verde é o nome dado às areias úmidas constituída da aglomeração da argila que mesmo depois da confecção do molde, não sofrem nenhum tipo de processo de secagem antes do vazamento de metal. Sendo assim esse tipo de areia é constituída por material refratário (areia), material aglomerante (argila), água e aditivos (VOLTOLINI,2010).

Segundo Groover (2016), areia deve possuir boas propriedades refratárias, ou seja, a capacidade para suportar altas temperaturas sem fusão ou outro tipo de degradação. Outras importantes características da areia incluem tamanho de grão, distribuição granulométrica e a forma dos grãos individuais. Grãos finos resultam no melhor acabamento superficial da peça fundida, mas grãos grosseiros são mais permeáveis. Moldes feitos com grãos de forma irre-

gular tendem a ser mais resistentes que moldes com areia de grãos arredondados por causa do travamento, embora o travamento tenda a diminuir a permeabilidade.

As areias usadas na fundição são as denominadas areias sintéticas, lavadas para remoção de argila e material orgânico, peneiradas, classificadas segundo o tamanho granulométrico e misturadas para formar a distribuição granulométrica desejada. O material orgânico é retirado, pois poderia induzir o aparecimento de porosidade na peça pelos gases oriundos de sua combustão quando em contato com o metal fundido. A distribuição granulométrica é importante, pois afeta o grau de compactação e, portanto, a resistência mecânica do molde que deve suportar a pressão metalostática do metal fundido, afetando também a permeabilidade que o molde terá para permitir o fluxo de gases para fora de sua cavidade; ela também determina a quantidade de argila e outros aditivos a serem usados pela sua influência na área específica total da areia. Para aglomeração da areia, podem ser usados diversos materiais como a argila com água ou resinas poliméricas (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2019).

Conforme explica Romanus (2013), para a mistura de areia de sistema recomenda-se: areia base do tipo 60/70 AFS usada em construção civil e adquirida em lojas que comercializam materiais de construção, bentonita sódica, pó de carvão, amido de milho e água. Para cada 100 gramas de areia, usa-se a seguinte proporção: 5 g de bentonita, 1,5 g de amido de milho, 2 g de pó de carvão. A água foi adicionada numa razão de 4% à esta mistura.

O ponto mais relevante quanto ao uso das areias é o seu reaproveitamento sem a necessidade de tratamentos específicos de lavagem e queimas, apenas de resfriamento, com quantidades mínimas de descartes. Este fato mostra que o processo de fundição em areia verde diminuiu sensivelmente os rejeitos de areia de fundição, o que diminuiu os custos nos aterros industriais e ainda possibilita reutilização em construção civil (BARBIERI, 2013).

3.5.3 Moldagem

Na confecção do molde, os grãos de areia são mantidos unidos por uma mistura de água e argila como aglomerante. Outros agentes aglomerantes podem ser usados em substituição à argila, incluindo resinas orgânicas como resinas fenólicas, e aglomerantes inorgânicos como silicato e fosfato de sódio. Além da areia e do aglomerante, aditivos são algumas vezes adicionados à mistura para melhorar propriedades como resistência mecânica e/ou permeabilidade do molde (GROOVER, 2016).

A moldagem em areia verde é o processo mais simples e de uso mais generalizado em fundição, como é demonstrado por Kiminami, Castro e Oliveira (2019) em seu livro "Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos". Possui baixa resistência mecânica com a presença de umidade. Consiste em compactar, manualmente ou empregando máquinas de moldar, uma mistura plástica, composta essencialmente de areia silicosa, argila para aglomeração (geralmente usada bentonita), e água (numa proporção de aproximadamente 100 partes de areia, 20 de bentonita e 4 de água) sobre o modelo colocado ou montado na caixa de moldar. O termo "verde" significa que o molde não é seco ou sinterizado ("queimado") antes de ser usado; uma vez confeccionado o molde, o metal é imediatamente vazado no seu interior. Geralmente são feitas certas adições como de carvão, cereais e celulose para melhorar a aglomeração, a estabilidade dimensional, o acabamento superficial da peça, o destacamento do modelo e a colapsidade do molde.

A compactação manual mais comum é aquela realizada em caixas. Esse tipo de compactação permite a produção de peças de poucos gramas até vários quilos, mas é pouco produtiva. Já a compactação mecânica é muito produtiva e geralmente é realizada por prensas hidráulicas. Esse método permite a produção em larga escala de peças fundidas em areia verde. Os moldes de areia, independentemente do tipo de aglomerante usado, devem possuir algumas características que são importantes para o seu bom desempenho, como (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2019):

- Resistência mecânica para suportar o peso do metal líquido;
- Suportar a ação erosiva do metal líquido durante o vazamento;
- Geração, quando em contato com o metal fundido, de uma menor quantidade de gás possível;
- Permeabilidade adequada para permitir a saída dos gases;
- Refratariedade para não fundir ao ser preenchido pelo metal fundido;
- Estabilidade térmica para não ocorrer transformações estruturais que levem a uma alteração das propriedades mecânicas do molde ou a uma alteração dimensional que, além de distorções, gere trincas;
- Apresentação de colapsibilidade adequada após a solidificação da peça, que permita a sua quebra mantendo a integridade da peça fundida.

3.5.4 Vantagens e Limitações

O processo de fundição em areia verde tem inúmeras vantagens como: praticamente não tem limites no tamanho, forma, peso ou complexidade; é de baixo custo; a maioria das ligas pode ser fundida e é econômico para lotes de tamanho reduzido, pelas observações de Groover (2016).

Como demonstra Kiminami, Castro e Oliveira (2019), a fundição em areia verde também tem suas limitações, por exemplo: tolerâncias dimensionais estreitas são difíceis e há limitação no acabamento superficial; alguma usinagem geralmente é necessária após o processo; cerca de 20 a 50% do material é perdido em canais de alimentação e massalotes; a taxa de produção é determinada principalmente pela etapa de confecção do molde que é perdido após cada vazamento realizado. Valores típicos estão na faixa de 1 a 400 peças por hora.

4 METODOLOGIA

Para o atendimento aos objetivos propostos e nortear a construção e aplicação do projeto, o desenvolvimento do trabalho foi dividido nas seguintes etapas, sendo elas: especificações dos componentes utilizados no projeto, processo de fabricação do molde e suas respectivas subetapas, fusão do alumínio, vazamento do alumínio, desmoldagem, rebarbação e limpeza.

4.1 Especificações dos Componentes Utilizados no Projeto

Para a produção do molde e realização do processo de fundição em areia verde foram utilizados alguns materiais que seguem descritos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Lista de materiais.

| Quantidade | Materiais | Descrição |
|------------|--------------------------------|--|
| 10Kg | Areia sintética | Areia preparada com aglomerante e aditivos |
| 400ml | Água | Água potável |
| 2kg | Alumínio | Liga de alumínio 6063 |
| 1un. | Forno de fundição | Forno poço basculante, 1300°C, 7 litros, POB 1300/7, FORTELAB |
| 1un. | Pincel | Pincel Vonder 3/4 Pol Vd700 Cerdas Naturais |
| 1un. | Bacia de plástico | Bacia de 80L para preparação da areia |
| 1un. | Peneira | Peneira de cozinha para preparação da areia |
| 1un. | Socador | Socador feito em madeira para compactação da areia |
| 1un. | Desmoldante | Talco para uso caseiro |
| 1un. | Régua | Régua de madeira para retirar excesso de areia da caixa de moldagem |
| 2un. | Cano de 1/2" | Canos para fazer os canais de alimentação e respiro |
| 1un. | Colher de cozinha | Para manipular a areia |
| 1un. | Lixa 220 | Para rebarbação |
| 1un. | Lixa 400 | Para lustre e polimento |
| 1un. | Arco de Serra 140 12" Starrett | Para corte dos canais de alimentação |
| 1un. | Chave de fenda | Para confecção da caixa molde |
| 1un. | Martelo | Para confecção da caixa molde |
| 8un. | Cantoneira em L | Cantoneira L reforçado 1 ¹ / ₂ x 1 ¹ / ₂ x 5 ⁵ / ₈ aço bicromatizado |
| 2un. | Fecho de pressão | Fecho de pressão FP12/A1 inox |
| 1un. | Modelo | Modelo feito com polímero ABS por impressão 3D |
| 1un. | Tábua de madeira | Tábua para confecção da caixa molde |
| 1un. | Coquilha | Coquilha para retirada do alumínio fundido do forno |
| 46un. | Parafuso philips | Parafuso Philips Cabeça Chata 4,5 x 30 mm Ciser |

Durante as etapas de construção e execução do projeto, a fim de garantir a segurança, foram utilizados alguns equipamentos de proteção individual conforme NR 6 – equipamento de proteção individual. Os EPIs foram utilizados durante algumas etapas do projeto. Para a utilização do forno na fusão e vazamento do alumínio foram utilizados óculos de segurança e luva de raspa.

4.1.1 Matéria-Prima

O metal utilizado no processo de fundição, como matéria prima, foi o alumínio. Inicialmente através de coleta em centro de coleta seletiva, obteve-se massa necessária para fundir e fazer a peça, porém para os primeiros experimentos foi constatado que a sucata obtida tinha alto teor de impurezas ou baixa porcentagem de alumínio em sua liga, assim não foi possível prosseguir o experimento com a sucata obtida, pois o mesmo não fundia nem a $900^{\circ}C$. Com isso, foi necessário a obtenção de uma liga com alta pureza de alumínio em sua composição para o andamento do projeto. Assim, foi adquirido por meio da compra via internet de 1 unidade de lingote da liga de alumínio 6063 de 2 kg com 98,6% de pureza, obtido por meio de reciclagem de sucatas de perfil, como demonstrado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Lingote de liga de alumínio 6063 utilizado para fundição.



Fonte: Do autor (2020).

Inicialmente foi realizado uma primeira fundição para a limpeza do cadinho. Então, posteriormente, estimou-se quanto material seria necessário fundir para a produção da peça. É recomendado o cálculo de volume da peça para que não falte material e a peça fique então incompleta. Como para a retirada do alumínio fundido houve a necessidade de retirar uma quantidade de escória na camada superficial do alumínio fundido e no processo foi utilizado uma concha coquilha para realizar o vazamento do alumínio no molde, no fim do processo não foi possível retirar todo alumínio do fundo do cadinho. Então foi necessário adicionar uma quantidade a mais de alumínio para a fundição para que no final não acabasse faltando para concluir o total vazamento no molde.

4.2 Processo de Fabricação do Objeto Ornamental

Para o completo entendimento da produção do objeto ornamental, nesta seção é apresentada a descrição completa do processo, assim como a utilização dos materiais especificados anteriormente. Todo o processo foi realizado no Laboratório de Processos de Materiais localizado no Departamento de Engenharia (DEG) na Universidade Federal de Lavras (UFLA) no ano de 2020.

4.2.1 Confeção do Modelo

Para a confecção do modelo utilizou como material o polímero acrilonitrila butadieno estireno (ABS), pois como o projeto não foi pensado na produção em larga escala e de grandes peças o polímero se apresentou mais viável economicamente para produção do modelo desejado. Além disso, o modelo foi projetado considerando aspecto que facilitasse a moldagem, como a conicidade, e que minimizassem os defeitos de solidificação, como cantos vivos e variações bruscas de seções, como pode ser observado na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Modelo utilizado no projeto.



Fonte: Do autor (2020).

O modelo utilizado no processo no formato .stl foi obtido da plataforma de desig 3D thingiverse, disponibilizada pelo criador Greg Buxton, sob o título de 'Flat-bottomed Moai' e licença Creative-Commons (BUXTON, 2013). Em seguida, o modelo foi alterado em software

CAD de forma obter-se uma geometria bipartida, visando facilitar o processo de produção do molde. Com o desenho técnico do modelo bipartido, foi realizado a confecção do modelo via impressão 3D, utilizando a tecnologia Fused Deposition Modeling - FDM, em um equipamento Anycubic I3 Mega.

4.2.2 Confecção do Molde

Primeiramente, para a confecção da caixa molde, foi realizados cortes na tábua de madeira com a finalidade de se obter 8 tiras de dimensões de $10\text{cm} \times 35\text{cm} \times 2,5\text{cm}$ e todas lixadas posteriormente. Após esta etapa, foi fixada uma tira de madeira na outra em suas respectivas extremidades com 2 parafusos e cravado 1 cantoneira em cada quina da caixa. Finalmente, para a finalização da caixa de moldagem, foi parafusado 1 fecho de pressão e 3 pequenas tiras de madeira em cada lado da caixa para assegurar sua estabilidade quando utilizada.

Conforme demonstrado anteriormente por Romanus (2013), para a composição da areia de sistema utiliza-se areia base do tipo 60/70 AFS usada em construção civil e adquirida em lojas que comercializam materiais de construção, bentonita sódica, pó de carvão, amido de milho e água. Para cada 100 gramas de areia, usa-se a seguinte proporção: 5 g de bentonita, 1,5 g de amido de milho, 2 g de pó de carvão. A água é adicionada em uma razão de 4% à esta mistura. Todos os materiais foram misturados em uma bacia até alcançar um nível de homogeneidade da massa. Foram feitos muitos testes, na tentativa e erro, para melhor aperfeiçoamento das características ideais para areia.

Nas primeiras tentativas, foi preparada uma areia de sistema caseira com as proporções dos componentes citados acima, porém o molde não permanecia inteiro quando a peça era removida ou toda areia se desprendia da caixa. Então foi concluído que esta mistura não era satisfatória, pois a mesma foi utilizada areia de praia na qual apresenta muita quantidade de sais, sendo assim, muito iônica e, com isso, a mistura apresentada anteriormente não realizava a liga necessária para a construção do molde.

Então, houve a necessidade da obtenção de 10 Kg de areia verde própria para fundição e foi adquirida da empresa Mela Melhoria de Metais Ltda. Esta areia verde apresenta em sua composição os componentes que são areia base de sílica, bentonita, carvão cardiff e dextrina-182. Com esta areia verde em mãos, foi possível dar andamento no projeto, como se observa na Figura 4.3 abaixo.

Figura 4.3 – Areia verde utilizada na fundição.



Fonte: Do autor (2020).

O processo de preparo do molde inicia-se apoiando a caixa inferior sobre uma superfície plana. Em seguida, o modelo é colocado no centro da caixa e é incorporado o desmoldante sobre o mesmo, como mostra a Figura 4.4. Após essa etapa, começa a compactação da areia sobre o modelo. A Figura 4.5 mostra o modelo após ser coberto e compactada pela areia de faceamento que é adquirida peneirando a areia de sistema, demonstrando assim, a parte inferior da caixa de moldagem finalizada com a primeira parte do modelo bipartido.

Figura 4.4 – Caixa inferior de moldagem com desmoldante sobre parte do modelo bipartido.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 4.5 – Caixa inferior de moldagem após ser coberta e compactada pela areia de faceamento.



Fonte: Do autor (2020).

A caixa então é virada de forma que o molde fique na face superior da caixa e possibilitando assim, a remoção do mesmo, como pode ser observado na Figura 4.6. Logo após, a parte superior da caixa é devidamente colocada sobre a parte inferior e a segunda metade do modelo bipartido também é colocada sobre a outra parte inicialmente utilizada do modelo, assim, deve-se distribuir uniformemente o desmoldante sobre o modelo e sobre a areia da caixa inferior.

Figura 4.6 – Caixa inferior de moldagem com desmoldante sobre parte do modelo bipartido.



Fonte: Do autor (2020).

Os canais de alimentação e respiro são cuidadosamente fixados na areia da caixa inferior próximo ao modelo. Esses massalotes (reservas de material), situam-se sobre os canais de alimentação com intuito de evitar a erosão causada pelo contato do metal com a areia e não causar danos na peça. A Figura 4.7 mostra exatamente os canais que orientam o metal até a peça.

Figura 4.7 – Posição e fixação dos canais de alimentação e respiro.



Fonte: Do autor (2020).

A areia de faceamento é peneirada acima do molde e compactada. Após completar o nível logo acima da altura do modelo na caixa, pode-se utilizar a areia de sistema para finalizar o volume da caixa, completá-la com areia e, se necessário, retirar seu excesso no fim do processo, como é demonstrado na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Partes do molde com o negativo do modelo.



Fonte: Do autor (2020).

As duas partes da caixa de moldagem são separadas e as partes do modelo são então removidos com bastante cuidado para não causar erosão da areia, garantindo assim, a integridade do molde, tal processo é observado na Figura 4.9. Em seguida, com uma colher, são criados canais de alimentação para o metal fluir e preencher todo o vazio.

Figura 4.9 – Partes do molde com o negativo do modelo.



Fonte: Do autor (2020).

Por fim, a parte superior da caixa então é encaixada sobre a inferior fechando assim o sistema que compõe todo o molde de fundição, como mostra a Figura 4.10.

Figura 4.10 – Molde finalizado.



Fonte: Do autor (2020).

4.2.3 Fusão do Alumínio

O metal utilizado no processo de fundição, como matéria prima, foi o alumínio. Assim, realizou-se uma estimativa de quanto material seria necessário fundir para a produção da peça levando em conta que seria retirado uma parte do alumínio fundido em forma de escória e outra parte na qual não seria possível retirar do fundo do cadinho do forno de fundição, pois a coquelha utilizada não permite recolher todo alumínio no fundo do cadinho de fundição. Para o teste foi fundido um lingote de alumínio de 2 kg.

A fusão do alumínio foi realizada em um Forno poço basculante, 1300°C, 7 litros, POB 1300/7, FORTELAB, como é demonstrado abaixo na Figura 4.11.

Figura 4.11 – Forno basculante utilizado no processo.



Fonte: Do autor (2020).

É recomendado o cálculo de volume da peça para que não falte material e a peça fique então incompleta. Logo depois, o lingote alumínio foi colocado dentro do cadinho e levado até o forno para começar a fusão. Após o forno chegar a uma temperatura de $860^{\circ}C$ e com um patamar de 180 minutos, foi possível fundir toda a liga de alumínio. Com a utilização de equipamentos de segurança e com uma coquilha de ferro, o alumínio fundido então é removido do cadinho do forno de fundição.

4.2.4 Vazamento do Alumínio e Desmoldagem

Com o auxílio de concha injetora presentes no laboratório, o material liquefeito então é vertido sobre um dos canais de alimentação até o preenchimento completo do molde, como é apresentado na Figura 4.12. A confirmação do preenchimento do molde se dá quando o metal emerge pelo canal de respiro.

Figura 4.12 – Molde após o vazamento do alumínio.



Fonte: Do autor (2020).

Depois de respeitar o tempo de solidificação, a caixa é aberta para a remoção da peça através da quebra do molde em areia. O produto obtido após a quebra do molde é mostrado no tópico seguinte que será apresentados os resultados e discussões.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo a apresentação dos resultados e a discussão destes foi dividida em quatro pontos: as análises do modelo, análise da caixa molde, análise da areia de fundição e, por fim, a análise geral do produto final, seguindo a metodologia experimental descrita no capítulo anterior.

Após a quebra do molde de areia, o produto obtido é mostrado na Figura 5.1 e como pode-se observar o canal de alimentação e respiro conectados a peça antes de realizar o corte dos mesmos.

Figura 5.1 – Molde finalizado.



Fonte: Do autor (2021).

5.0.1 Rebarbação e Limpeza

Após concluir o corte, realizado por um Arco de Serra 140 12"Starrett, dos canais de alimentação e respiro, Figura 5.2, é feita a rebarbação. A técnica de rebarbação pode ser realizada por meio de diversos métodos. Ela tem a finalidade de retirar saliências ou bordas ásperas, evitando acidentes decorrentes de fissuras e trincas e conferindo um perfeito acabamento às peças e aos componentes.

Figura 5.2 – Produto com os canais de alimentação e respiro cortados.



Fonte: Do autor (2021).

Neste projeto a rebarbação foi produzida por meio de lixamento manual com uma lixa 220 devido ao tamanho pequeno do objeto confeccionado. A conclusão desse processo é notado na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Produto após a rebarbação.



Fonte: Do autor (2021).

Por fim, para que fosse obtida uma superfície mais limpa e com mais brilho no produto final foi realizado um lixamento com uma lixa 400 que é uma lixa de granulometria mais fina com finalidade de lustrar e dar um leve polimento no objeto produzido, e assim, será feita uma análise visual e dimensional que será discutida nos resultados do presente trabalho. O produto final é apresentada na Figura 5.4.

Figura 5.4 – Produto final após realizada a limpeza e polimento.



Fonte: Do autor (2021).

5.1 Análise do Modelo

O modelo utilizado atendeu às necessidades do projeto uma vez que, confeccionado por meio de impressão 3D, permitiu uma boa representação de detalhes e ser produzido já bipartido para uma melhor utilização na fabricação do molde, como observa-se na Figura 5.5. Tal modelo foi impresso com 100 mm de altura e com uma base de 50 mm.

Figura 5.5 – Modelo utilizado.



Fonte: Do autor (2020).

Como uma limitação apresentada pelo modelo foi a presença de ranhuras nas quais foram obtidas através da própria impressão do mesmo, ou seja, os pequenos espaços presentes entre uma camada e outra de polímero impresso na confecção do modelo e assim, permitiu a aderência de areia verde nessas ranhuras. Sendo assim, foi necessário lixar o modelo a fim que fosse eliminada as ranhuras presentes e sua superfície se tornasse mais lisa e melhor utilizada no projeto.

No geral, buscou-se utilizar um modelo com geometria de fácil adaptação ao projeto de confecção do molde, ou seja, um modelo com geometrias mais arredondadas, sem muitos cantos vivos, que apresentasse uma conicidade e que fosse possível ser simetricamente bipartido para melhor manuseio e, permitindo assim, boa reprodução de superfícies no molde de areia produzido com a retirada do modelo.

5.2 Análise do Molde

A caixa molde confeccionada artesanalmente em madeira com 8 tiras de dimensões de $10\text{cm} \times 35\text{cm} \times 2,5\text{cm}$, foi pensada na fabricação de peças fundidas de pequenas dimensões de aproximadamente 10 cm^3 de volume. Buscou-se total cuidado com as madeiras para que não permitisse umidade e assim, afetasse a integridade da caixa molde ocasionando empenamento,

alterando suas dimensões e sua viabilidade. Com isso, foi necessário total cuidado com seu manuseio e armazenamento.

Conforme apresentado no capítulo de metodologia para a fabricação da caixa molde houve a necessidade de ser reforçado as quinas da caixa utilizando cantoneiras com a finalidade de, com a compactação da areia na caixa, não permitisse que espaços fossem surgindo e, por meio disso, escapasse a areia e enfraquecesse a caixa. Também foi utilizado fechos de pressão e encaixes de madeira em duas laterais da caixa para que não ocasionasse deslizamento entre a parte superior e inferior da caixa molde e, assim, ocorresse uma futura peça fundida com certa assimetria.

A areia para o processo é de fundamental importância, pois esta influencia no acabamento superficial das peças e na permeabilidade do molde, permitindo o escape dos gases de queima do modelo. O procedimento de compactação do molde foi de fácil adaptação.

Como uma das intenções do projeto é ser viável economicamente, explorando materiais e recursos de baixo custo, para uma primeira análise foi utilizado areia preparada artesanalmente com areia de praia como base e devidamente peneirada, buscando assim, uma granulometria bem fina. Porém, não foi possível dar andamento no projeto com esta areia, pois por apresentar maior concentração de sais, ela é mais iônica e não permite a liga necessária para que o molde seja concluído com sucesso, fazendo com que nos primeiros experimentos a areia se desprendesse da caixa com mais facilidade ou aderindo na superfície do modelo como mostrado na Figura 5.6

Figura 5.6 – Experimento de confecção do molde com areia de praia.



Fonte: Do autor (2020).

Após várias tentativas e erros de produção do molde com a areia verde feita a base de areia de praia, foi também realizado experimentos com areia própria para fundição na qual

proporcionou um acabamento mais liso e mais firme comparado à areia de praia utilizada inicialmente e, assim, sendo crucial para a conclusão do molde.

Foi necessário peneirar a areia verde o máximo permitido, pois, caso a areia apresentasse grãos de maiores granulometrias, poderia comprometer o acabamento, provocando uma maior aspereza e pequenas inclusões de areia em um futuro objeto fundido que necessitasse desse molde. Assim, na análise geral quanto ao acabamento superficial e resistência mecânica a areia verde utilizada apresentou um melhor desempenho como apresentado abaixo pela Figura 5.7.

Figura 5.7 – Experimento de confecção do molde com areia verde própria para fundição.



Fonte: Do autor (2020).

Portanto, quanto ao uso da areia seu reaproveitamento sem a necessidade de tratamentos específicos de lavagem e queimas, apenas de resfriamento, com quantidades mínimas de descartes foi de grande utilidade, como apresentado anteriormente por Barbieri (2013). Fato no qual mostra também que o processo de fundição em areia verde diminui sensivelmente os rejeitos de areia de fundição.

5.3 Análise Geral do Processo e do Produto

De modo geral, como boa parte processo de produção do objeto ornamental foi feito artesanalmente, obteve-se resultados aceitáveis para o projeto em questão. A caixa molde e o modelo durante todo experimento se mostrou resistente às várias compactações de areia. A areia própria de fundição utilizada atendeu às necessidades do molde em comparação à areia de praia preparada inicialmente, permitindo boa compactação, liga entre os grãos e aderência à caixa molde.

Os canais de respiro e de alimentação também foram de fácil reprodução uma vez que houve boa compactação da areia na caixa molde e utilizando dois canos de superfícies lisas que não permitisse aderência da areia nos mesmos.

O objeto ornamental confeccionado pelo processo de fundição foi bastante satisfatório, pois em comparação com o modelo utilizado, houve boa reprodução de suas geometrias e suas dimensões, como a reprodução dos detalhes e regiões em que há cantos vivos. Um ponto a ser melhorado e que está presente na superfície do objeto ornamental é a presença de minúsculos buracos na superfície que foi ocasionado pela presença de gases durante o vazamento quando o alumínio fundido entra em contato com a areia do molde. Então, como apresentado anteriormente por Groover (2016), é recomendado para trabalhos futuros a mistura de fluxos escorificantes e desgaseificantes no metal fundido a fim de garantir o desprendimento dos gases antes do contato com a areia e eliminar impurezas na escória, deixando assim, a superfície do produto mais lisa e uniforme.

Figura 5.8 – Análise de comparação do produto com o modelo utilizado.



Fonte: Do autor (2021).

Por fim, os materiais utilizados para fabricação da caixa molde, modelo e obtenção da liga de alumínio 6063 foram de fácil acesso e de baixo custo atendendo aos requisitos exigidos

para o trabalho, como na utilização de alumínio reciclável, ou seja, transformou-se os resíduos novamente em matéria-prima por meio de um conjunto de técnicas pelas quais o material, que a princípio seria descartado, são segregados e processados para serem usados como insumos na manufatura do objeto ornamental. Entretanto, somente a areia verde de fundição utilizada que, por meio dos erros apresentados durante o processo com a areia de praia requisitada anteriormente, tornou necessário a compra de de uma areia própria de fundição através de uma empresa especializada. Porém, foi de grande importância para o andamento do projeto.

6 CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi demonstrado que para o alcance do Desenvolvimento Sustentável, a reciclagem do alumínio contribui muito, como por exemplo a geração de renda, empregos e preservação da matéria-prima virgem. Esse trabalho teve o intuito, também, de descrever e apresentar na prática o processo de fundição em areia a verde, mostrando cada etapa que o constitui, sendo este tipo de processo, um dos mais utilizados na fundição de ligas de alumínio e contribuindo para sua reciclagem.

Com relação à retirada do mineral da natureza para obtenção do alumínio há, ainda, muitos desafios a serem superados. Entre eles a busca pelo consumo eficiente de energia e a criação de aplicações para os resíduos de bauxita que tanto danificam o meio ambiente. Entretanto, conforme apresentado nesse trabalho, as contribuições geradas pela reciclagem do alumínio nos aspectos sociais e econômicos, podem ser consideradas como um passo inicial para o alcance do Desenvolvimento Sustentável.

Com relação ao processo de fabricação por fundição em areia verde foi possível observar que as análises constataram que o método, apesar de ter sido feito artesanalmente, resultou em um produto final satisfatório, com uma boa aparência e com razoável resultado dimensional. O modelo, caixa molde, areia de fundição utilizada, todos os demais materiais e ferramentas utilizados se mostraram adequados para o desenvolvimento de todo o projeto, sendo assim, de fácil reprodução para trabalhos futuros de fundição de alumínio no qual utilize de molde em areia verde.

Todo o processo foi ensaiado em laboratório da UFLA e mostra que é possível que turmas de graduação de engenharia, trabalhem com o mesmo tipo de projeto. Praticamente toda areia é reutilizada (cerca de 98%) após ser utilizada para trabalhos com fundição e a matéria-prima que irá ser fundida pode ter origem vinda de reciclagem. A pesquisa é determinante no aprendizado de futuros engenheiros, tem custo de manutenção muito baixo e pode ser ponto de partida para outro processo de fabricação mecânica. Além dos benefícios ambientais, a reciclagem de latinhas apresenta uma viabilidade econômica considerável.

O presente projeto é uma excelente alternativa para fins didáticos quanto às aulas práticas de fundição e por ser um meio para a reciclagem de sucatas de alumínio. Em relação à minha formação de engenheiro mecânico este trabalho contribuiu de forma grandiosa uma vez que uniu várias áreas de conhecimento como materiais metálicos, processos de fabricação, metodologia

científica e desenvolvimento sustentável, além da experiência de superar todos desafios que surgiram durante este trabalho e realizar na prática o processo de fundição em areia verde.

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para alcançar a melhoria do molde e para uma melhor qualidade da peça produzida em trabalhos futuros pelo processo de fundição em areia verde, são sugeridas algumas propostas de trabalhos futuros, como:

- Diminuição do volume da caixa de fundição levando em conta o tamanho da peça a ser produzida, gerando assim, menor utilização de areia e maior velocidade para o processo;
- Utilização de um desmoldante mais adequado como grafite ou licopódio em pó, fazendo com que o modelo se desprenderia da areia com mais facilidade deixando o contorno do molde melhor;
- Mistura de fluxos escorificantes e desgaseificantes no metal fundido (garantir o desprendimento dos gases antes do contato com a areia e eliminar impurezas na escória);
- Utilização de métodos para remoção da tinta das latinhas antes de se realizar a fundição propriamente dita, a fim de reduzir o volume de escória.

7 REFERÊNCIAS

ABAL - ASSOCIACAO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **O Alumínio: Processo de produção**. 2019. Disponível em: www.abal.org.br/alumínio/processos_reciclagem.asp. Acesso em 11 de março de 2020.

ABRALATAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE LATAS DE ALUMÍNIO (ed.). **Reciclagem: economia equivale a um ano de energia para 7 milhões de brasileiros**. 26 ago. 2019.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2018/2019**. São Paulo. (org.). 2020.

ANCAT – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CATADORES E CATADORAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS. **Anuário da Reciclagem 2017-2018: Relatório de Atuação da ANCAT**. 1. ed. São Paulo. Pragma, 5 set. 2019.

ARAÚJO, J, N; DROZDA, F, O. **Evaluation of the wear of parts produced by additive manufacture FDM**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 12, p. 32099-32110, dez. 2019. ISSN 2525-8761.

BALDAM, Roquemar de Lima; VIEIRA, Estéfano Aparecido. **Fundição: Processos e tecnologias correlatas**. 2ª ed. rev.. São Paulo: Érica. 2014.

BARBIERI, J.C. **Desenvolvimento e meio ambiente: As estratégias de mudanças da agenda 21**. 6ª ed. Petrópolis: Vozes, 2013.

BOMBANA, G. A., Assad, N., Coelho, T. M. **Produção de Modelos Impressos em 3D para Fabricação de Moldes de Fundição do Alumínio**. Anais do V Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2017 - ISSN: 2318-9258. 2017.

BRAGHETTO, Antônio. et al. **Processos de fabricação**. 1. ed. São Paulo: Globo, 2000.

BUXTON, Greg. **Flat-bottomed Moai**. In: **Flat-bottomed Moai**. [S. l.], 11 set. 2013. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:149271>. Acesso em: 4 dez. 2019.

CBA - COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. **Relatório Anual 2018**. 2018. São Paulo.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Ciclossoft 2020**. 2020. Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclossoft/id/9>. Acesso em: 13 abr. 2020.

CUNHA, Carlos Jorge et al. **Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas**. In: Congresso de Fundição, São Paulo, 2005. Anais. São Paulo, 2005.

FACHIM, Leo. **A Reciclagem De Resíduos Sólidos Como Meio de Geração de Emprego e Renda, Análise dos Problemas Sócio-Ambientais e do Custo de Oportunidade.** 2004.

FINOTTI, João. **Lingotes, Tarugos , Pepitas, Vergalhão Em Alumínio Fundido.** [S. l.], 23 jun. 2020. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1542710539-lingotes-tarugos-pepitas-vergalho-em-aluminio-fundido-_JM. Acesso em: 21 dez. 2020.

FUOCO, R.; MOREIRA, Marcelo F. **Ligas de Alumínio Fundidas.** 2005. Disponível em <<http://www.dalmolim.com.br/EDUCACAO/MATERIAIS/Biblimat/aluminiofund.pdf>> Acesso em 24 out. 2020

GOMES, Mario R.; FILHO, Ettore B. **Propriedades e usos de metais não-ferrosos.** ABM: Associação Brasileira de Metais, São Paulo, Édile Serviços Gráficos e Editora LTDA, 1976. 280 p.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos processos de fabricação.** Rio de Janeiro: LTC - LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS EDITORA S.A, 2016. 737 p. ISBN 978-85-216-2519-3. Português.

IBOPE - INSTITUTO BRASILEIRO DE OPINIÃO PÚBLICAS E ESTATÍSTICA. **Desinformação é maior dificuldade para a reciclagem no Brasil.** 2018. Disponível em: <https://www.ibopeinteligencia.com/noticias-e-pesquisas/desinformacao-e-maior-dificuldade-para-a-reciclagem-no-brasil/>. Acesso em: 13 maio 2020.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICA APLICADA (org.). **Relatório de Pesquisa: pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos.** 2010. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/253/_arquivos/estudo_do_ip_ea_253.pdf. Acesso em: 04 abr. 2020.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICA APLICADA (org.). **Situação Social das Catadoras e dos Catadores de Material Reciclável - Brasil.** 2013. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/253/_arquivos/estudo_do_ip_ea_253.pdf. Acesso em: 04 abr. 2020.

KIMINAMI, Claudio Shyinti; CASTRO, Walman Benício de; OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos.** São Paulo: Blucher, 2019. 237 p.

KOPICKI, R. J., BERG, M. J., LEGG, L., et al. **Reuse and Recycling: Reverse Logistics Opportunities.** Oak Brook, IL, Council of Logistics Management Books, 1993.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do Trabalho.** São Paulo: Atlas. 1992.

LEITE, P.R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade.** 1 ed. São Paulo, Prentice Hall, 2003.

LIRA, Valdemir Martins. **Princípios dos Processos de Fabricação Utilizando Metais e Polímeros**. São Paulo: Blucher, 2017. 241 p.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Reciclagem**. 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/7656-reciclagem>. Acesso em: 08 maio 2020.

MORO, Noberto; AURAS, André Paegle. **Introdução à Gestão da Manutenção**. 2007, Monografia, 33f. Curso Técnico de Mecânica Industrial, Gerência Educacional de Metal Mecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Florianópolis.

MTE - MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (BR). **Portaria nº 194 de 22 de dezembro de 2006. NR6 – Equipamentos de Proteção Individual**. Disponível em: http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_06.pdf. Acesso em: 03 de julho 2020.

NADCA - North American Die Casting Association. **FAQ – About Die Casting**. Illinois, 2012. Disponível em <<http://www.diecasting.org/faq/>> Acesso em 31 ago. 2020.

PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. **Alumínio**. Revista Química Nova na Escola; nº 13; maio 2001.

ROMANUS, Arnaldo. **Areia de Moldagem a Verde: Tipos, Composições, Matérias-Primas e Variáveis de Processo**. Foundry cursos e orientações, [S.L], jun. 2013.

SILVA, E. M. **Os Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0**. Revista Ferramental, Editora Gravo Ltda., Joinville, SC, Brasil, 2018.

SILVA, Fabio B. **Desgaseificação de Alumínio**. Publicação técnica. White Martins, 1998.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2018**. 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2018>. Acesso em: 18 abr. 2020.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017.

VOLTOLINI, Danielle. **Fundição Por Areia Verde**. Curitiba. UFPR,2010.30p.

ZANGRANDI, A. **Alumínio e suas ligas: Fundamentos metalúrgicos e tecnológicos**. 1.Ed. Lorena: Instituto Santa Teresa, 2008. 16-17 p.