



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS

CAMPUS MANAUS CENTRO

DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GLEISON COELHO BORGES

**A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA LIGA DE ZAMAC
RECICLADA EM UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

MANAUS/ AM

2021

GLEISON COELHO BORGES

**A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA LIGA DE ZAMAC
RECICLADA EM UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Josimar Soares.

MANAUS

2021

Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro

B732v Borges, Gleison Coelho.

A viabilidade técnica e econômica da utilização da liga de *Zamac* reciclada em uma indústria do polo industrial de Manaus / Gleison Coelho Borges. – Manaus, 2021.

58 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2021.

Orientador: Prof. Dr. José Josimar Soares.

1. Engenharia mecânica. 2. Reciclagem. 3. *Zamac*. I. Soares, José Josimar. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Título.

CDD 621

GLEISON COELHO BORGES

**A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA LIGA DE ZAMAC
RECICLADA EM UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pelo Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica

Manaus, 05 de abril de 2021.

Banca Examinadora:

(Assinado digitalmente em 05/04/2021 21:12)

JOSE JOSIMAR SOARES

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matricula: 1961168

Prof. Dr. José Josimar Soares,
Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas IFAM

(Assinado digitalmente em 06/04/2021 12:45)

ALBERTO LUIZ FERNANDES QUEIROGA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matricula: 1164531

Prof. MSc. Alberto Luiz Fernandes Queiroga,
Avaliador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas IFAM

(Assinado digitalmente em 12/04/2021 10:05)

GUTEMBERGUE DA SILVA ARRUDA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matricula: 1193663

Prof. MSc. Gutembergue da Silva Arruda,
Avaliador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas IFAM

DEDICATÓRIA

Ao meu avô, que desde criança cuidou de mim e eu tive a honra de ajudá-lo em seus últimos momentos de vida. Tenho certeza que ele está feliz agora com essa conquista em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois foi quem me deu forças para chegar até aqui. Sem Ele, nada somos.

Agradeço a minha mãe que nunca mediu esforços para me dar todo o suporte necessário em todas as etapas da minha vida.

Agradeço também a minha noiva que sempre me incentivou nessa jornada acadêmica, mostrando-se ser uma verdadeira companheira em todos os momentos.

A minha irmã que me apoiou e incentivou para que eu chegasse ao êxito neste trabalho.

Aos meus amigos de faculdade que passaram comigo momentos desafiadores dentro do curso.

Aos amigos que a vida me presenteou, pois sempre torceram para que eu chegasse a esse momento inenarrável.

Ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM) – Campos Manaus Centro, que proporcionou-me experiências e conhecimentos que levarei para vida.

Aos professores do IFAM, em especial, o Prof. Dr. Ailton e Prof. Dr. Josimar que me ajudaram na construção desta obra.

Aos colegas de trabalho que me ajudaram com o fornecimento de informações preciosas para a construção desta pesquisa.

RESUMO

As empresas do setor industrial brasileiro estão sempre buscando formas de se tornarem ou permanecerem competitivas no mercado. Para isso, elas precisam enxergar em seus processos oportunidades que abram precedentes para uma melhoria. Dentro desse contexto, a redução de custos baseado na diminuição de desperdício de matéria-prima ou qualquer outro recurso é uma realidade. Portanto, este trabalho tem como principal objetivo mostrar a viabilidade técnica e econômica da utilização de liga de Zamac reciclada em uma indústria de Manaus/AM. Pois, em sintonia com a aspiração da maioria das empresas, essa utilização visa justamente o melhor aproveitamento da matéria-prima, trazendo consigo os demais benefícios. Para atingir este objetivo, o trabalho faz uso de um estudo de caso na referida empresa, recorrendo a uma metodologia provida de pesquisa bibliográfica e documental. Além disso, por meio de visita técnica e realização de alguns ensaios, dados foram coletados para analisar o aproveitamento de resíduo de Zamac por meio da reciclagem. A pesquisa encerra o estudo chegando a uma conclusão positiva, na qual mostra-se ser viável fazer o uso da matéria-prima reciclada na empresa estudada, de modo que seja efetuado os ajustes necessários. Quanto aos parâmetros técnicos que garantem um bom desempenho do material, a liga de Zamac reciclada atende às especificações se for misturada com a matéria-prima virgem em uma determinada proporção. Quanto às questões financeiras que precisam ter um caráter vantajoso para a empresa, o uso da liga de Zamac reciclada representa uma recuperação de aproximadamente 77% do material que seria descartado.

Palavras-chave: Liga de zamac. Redução de custos. Desperdício de matéria-prima. Reciclagem.

ABSTRACT

Companies in the Brazilian industrial sector are always looking for ways to become or remain competitive in the market. For this, they need to see in their processes opportunities that set precedents for improvement. Within this context, the reduction of costs based on the reduction of waste of raw material or any other resource is a reality. Therefore, this work has as main objective to show the technical and economic feasibility of using recycled zamac alloy in an industry in Manaus / AM. Because, in line with the aspiration of most companies, this use aims precisely to make the best use of the raw material, bringing with it the other benefits. To achieve this objective, the work makes use of a case study in that company, using a methodology provided with bibliographic and documentary research. In addition, through technical visits and some tests, data were collected to analyze the use of zamac waste through recycling. The research ends the study reaching a positive conclusion, in which it is shown to be viable to use the recycled raw material in the studied company, so that the necessary adjustments can be made. As for the technical parameters that guarantee a good performance of the material, the recycled Zamac alloy meets the specifications if it is mixed with the virgin raw material in a certain proportion. As for the financial issues that need to be of benefit to the company, the use of recycled Zamac alloy represents a recovery of approximately 77% of the material that would be discarded.

Keywords: Zamac alloy. Cost reduction. Waste of raw material. Recycling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma esquemático para produção de zinco segundo a rota Ustulação-Lixiviação-Eletrólise.....	20
Figura 2: Crescimento do núcleo de cristalização	30
Figura 3: Fenômeno da contração de volume com a chupagem resultante.....	30
Figura 4: Segregação em peças laminadas e forjadas	31
Figura 5: Seção transversal de uma injetora de câmara quente	35
Figura 6: Seção transversal de um molde para fundição sob pressão em câmara quente	35
Figura 7: Sequência de operação de um ciclo do processo de fundição sob pressão em câmara quente	36
Figura 8: Diagrama de Ishikawa do desperdício de matéria-prima	44
Figura 9: Máquina de reciclagem	46
Figura 10: Processo inicial da operação de reciclagem	46
Figura 11: Máquina de reciclagem inclinada e com tambor interno em rotação	47
Figura 12: Retirada do material da máquina de reciclagem	47
Figura 13: Retirada dos resíduos	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais minerais de zinco	18
Tabela 2: Composição química das ligas de Zamac comumente comercializadas...	23
Tabela 3: Propriedades mecânicas das ligas de Zamac	26
Tabela 4: Propriedades físicas e mecânicas das ligas de Zamac para fundição	28
Tabela 5: Resultado do ensaio de composição química	49
Tabela 6: Resultado do ensaio de tração realizado com a matéria-prima reciclada .	50
Tabela 7: Resultado do ensaio de tração com material misturado	51
Tabela 8: Aspectos financeiros	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo setorial do Zinco no mundo	21
Gráfico 2: Consumo setorial do Zinco no Brasil	22
Gráfico 3: Geração de borra de Zamac 3 no processo de fundição	43

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CP – Corpo de prova

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICZ – Instituto de Metais Não Ferrosos

ISO – *International Organization for Standardization*

PIM – Polo Industrial de Manaus

RLE – *Roasting Leaching Electrolysis*

SHG – *Special High Grade*

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 ZINCO.....	17
2.1.1 Produção do Zinco.....	18
2.1.2 Consumo Setorial de Zinco	21
2.2 ZAMAC	22
2.2.1 Tipos de Liga de Zamac.....	23
2.2.2 Características da Liga de Zamac.....	24
2.2.3 Influência dos Elementos Químicos na Liga de Zamac.....	25
2.2.4 Propriedades Físicas e Mecânicas da Liga de Zamac.....	26
2.3 FUNDIÇÃO	29
2.3.1 Fundição Sob Pressão.....	32
2.4 RECICLAGEM DE MATERIAIS	36
3. METODOLOGIA	38
3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	38
3.1.1 Quanto à Abordagem	38
3.1.2 Quanto à Natureza.....	39
3.1.3 Quanto aos Objetivos.....	39
3.1.4 Quanto aos Procedimentos	39
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	41
4.1 BREVE HISTÓRICO DA EMPRESA ESTUDADA	41
4.2 DESPERDÍCIO DE MATÉRIA-PRIMA	41
4.3 RECICLAGEM DA BORRA DE ZAMAC 3.....	44
4.3.1 Implantação da Máquina de Reciclagem na Fábrica	45
4.4 ENSAIOS	48
4.4.1 Ensaio de Composição Química do Material	48
4.4.2 Ensaio de Tração.....	50
4.5 ANÁLISE FINANCEIRA.....	51
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS	58
Termo de Compromisso	58

1. INTRODUÇÃO

O setor industrial brasileiro sempre está em busca da redução de custos sem abrir mão da qualidade dos produtos. Neste sentido, a competitividade presente no mercado força as empresas a tomarem medidas com essa finalidade para que as mesmas consigam atender bem os seus clientes. Dessa forma, tanto as empresas quanto o consumidor final saem ganhando. As primeiras são beneficiadas ao adquirirem mais longevidade no mercado. Quanto ao último, um dos ganhos pode ser expressado por meio de preços mais acessíveis ou uma durabilidade maior dos produtos. O fato é que todos ao longo da cadeia acabam sendo atingidos de forma positiva.

Presente neste cenário, o objeto de estudo tem como seus clientes uma empresa do segmento automobilístico e outra do polo de duas rodas, e utiliza como uma de suas matérias-primas a liga de Zamac 3 para produzir a maioria de seus produtos, que são feitos por meio de processos de fabricação como, por exemplo, a fundição e usinagem que por sua vez geram resíduos, os quais podem representar desperdícios se não tiverem um destino adequado.

Diante disso, a empresa buscou soluções para alcançar o objetivo de reduzir custos. Para este fim, esta fez o uso de algumas ferramentas da qualidade para identificar problemas que pudessem ser atacados e o desperdício de material que ocorre no processo de fundição se destacou.

Nesse contexto, a pergunta problema que norteia a pesquisa é: Sendo técnica e financeiramente viável, qual medida a empresa pode adotar visando a redução do desperdício de liga de Zamac no processo de fundição?

Como hipótese inicial na tentativa de responder esse questionamento, a proposta é a criação de um novo processo na cadeia produtiva da empresa, o qual tem como finalidade a reciclagem dos resíduos de liga de Zamac que são gerados pelo processo de fundição presente na fábrica. Tal ideia parte do princípio que cada vez mais é buscado o reaproveitamento de materiais como uma forma de economizar financeiramente e não agredir ainda mais o meio ambiente. Essa linha de raciocínio já era discutida no século passado e vem se confirmando ao longo do tempo.

Há alguns pontos que dão a devida relevância para a elaboração e desenvolvimento do presente trabalho científico. Dentre eles, destacam-se a contribuição científica acerca da liga de Zamac e a análise da viabilidade técnica e econômica para usar a liga de Zamac reciclada. O primeiro trata-se da ampliação do conhecimento de como a matéria-prima pode ser aproveitada de maneira mais eficiente, de forma que ajude a reduzir custos das indústrias que utilizam esse material para fabricar os seus produtos. Este último está relacionado com os parâmetros técnicos que precisam ser atendidos e com o âmbito financeiro, o qual precisa ser vantajoso para a empresa. Além desses pontos, pode-se destacar o impacto positivo que terá em relação ao meio ambiente, o qual é uma questão que sempre preocupa os órgãos competentes e a sociedade como um todo.

Portanto, com a realização desse trabalho é possível contribuir de maneira confiável e significativa com a comunidade interessada em assuntos como liga de Zamac e o seu melhor aproveitamento.

Após a justificativa para realização da presente pesquisa, cabe apresentar o objetivo geral do trabalho, qual seja realizar um estudo sobre a viabilidade técnica e econômica do uso da liga de Zamac reciclada em uma indústria do polo de duas rodas localizada em Manaus/AM.

Esse objetivo geral se desdobra em outros quatro específicos:

- a) estudar os referenciais teóricos que abordam alguns assuntos como o zinco, liga de Zamac, fundição e reciclagem;
- b) avaliar propriedades mecânicas por meio de teste de tração e composição química do material por meio do respectivo teste;
- c) analisar o investimento, o *payback* e o quanto a empresa economizará ao utilizar a liga de Zamac reciclada e,
- d) apresentar os resultados obtidos por meio das análises realizadas.

Os referenciais teóricos utilizados para construção desse trabalho são variados. Há bastante credibilidade e confiança neles pois alguns atuam diretamente com a temática, como é o caso de empresas que têm seus negócios em torno do assunto. Um exemplo dessas empresas é a Nexa e a Votorantim. Há também sites que são referências para a obtenção das respectivas informações como é o caso do

Instituto de Metais Não Ferrosos (ICZ). Além disso, autores de livros renomados no meio acadêmico como Chiaverini (1986), autores de relatórios técnicos feitos para o governo, autores de manual técnico e entre outros também se fazem presentes.

Quanto a metodologia da pesquisa, a mesma respeita as características de um estudo de caso sobre a utilização da liga de Zamac reciclada em uma determinada empresa. Para tal, será feito um levantamento bibliográfico e visita técnica para obtenção de dados, assim como alguns testes práticos de acordo com normas específicas e também pesquisa documental para que o trabalho conte com informações bem consistentes.

Esperamos que a pesquisa possa contribuir academicamente com os assuntos percorridos ao longo dela e também que consiga apresentar uma maneira mais proveitosa de trabalhar com a liga de Zamac.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) está estruturado em seis capítulos, sendo iniciado por esta Introdução. Nesta, é apresentado um contexto no qual a liga de Zamac está inserida, além de apresentar o objetivo geral e os específicos. Neste primeiro capítulo, também se justifica a importância da realização dessa pesquisa.

No segundo capítulo encontra-se o referencial teórico construído por meio de um levantamento bibliográfico de assuntos como o zinco e sua cadeia de produção, a liga de Zamac e seus tipos, o processo de fundição sob pressão e a reciclagem. No terceiro capítulo deste TCC, são descritos os procedimentos metodológicos quanto à natureza, aos objetivos, à abordagem e quanto aos procedimentos.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados e discussões deste trabalho. Destacam-se o resultado de alguns ensaios realizados fora da empresa estudada, como foi realizada a implantação do novo processo na fábrica e como ocorria o desperdício de matéria-prima no setor de fundição. No quinto capítulo, são realizadas as considerações finais da pesquisa, mostrando se há a viabilidade de utilização da liga de Zamac reciclada na empresa estudada. Finalmente, no sexto capítulo, são citadas as referências bibliográficas que ajudaram a construir este trabalho como, por exemplo, livros, sites, relatórios, manual e entre outros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados assuntos importantes sobre a temática para uma melhor fundamentação teórica, como por exemplo: características do zinco, que é o metal de onde parte a fabricação da liga de Zamac, sobre a liga de Zamac em si (seus tipos, características, aplicações, propriedades e etc), sobre a fundição que é um dos processos de fabricação utilizados para processar a liga e sobre a reciclagem, que se apresenta como uma boa alternativa para o aproveitamento do resíduo de Zamac.

Para isso, as mais variadas fontes disponíveis são utilizadas, respeitando a credibilidade das informações, para que esse embasamento teórico seja confiável.

2.1 ZINCO

Segundo o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (2019), o setor metalúrgico é classificado pelo sistema de Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como Indústria de Transformação. Este setor é desdobrado em cinco grupos: produção de ferro-gusa e ferroligas; siderurgia; produção de tubos de aço, exceto sem costura; metalurgia dos metais não ferrosos e fundição. Em relação ao cenário econômico do Brasil, o mesmo aparece com uma importância significativa pois possui uma considerável cadeia de produção dos segmentos ligados à metalurgia, usinagem e produção de manufaturados metálicos. Além disso, representa a base de outras atividades de expressão desenvolvidas no país como, por exemplo, a indústria automobilística, construção civil e bens de capital.

Diante disso, no grupo dos metais não ferrosos, há o setor de zinco. De acordo com Santos (2010), o zinco é um elemento químico com número atômico 30 e o seu símbolo é Zn. Ele apresenta uma cor branco-azulada, possui cristais do sistema hexagonal, seu peso atômico é 65,38 g, o seu ponto de fusão é de 419 °C e 920 °C é o seu ponto de ebulição.

Ainda de acordo com o mesmo autor, uma das características do metal zinco é a facilidade de oxidação. Além disso, é um elemento químico maleável que possui propriedades físicas que o ajudam a ter facilidade para moldagem e trabalho

mecânico. Devido ao fato de ter um ponto de fusão baixo, torna-se fácil a sua moldagem em peças injetadas e centrifugadas e também é usado na produção de fios metálicos por conta da sua ductilidade permitir isso. Outra característica importante desse metal é a grande facilidade de combinação com outros metais, o que resulta na obtenção de ligas como, por exemplo, latões e ligas de Zamac. Estas últimas são muito empregadas em eletrodomésticos, na indústria de material bélico e na automobilística. Vale destacar também que o zinco é bastante resistente quando é deformado plasticamente a frio, sendo necessário o seu aquecimento acima dos 100 °C para que seja laminado sem maiores dificuldades.

2.1.1 Produção do Zinco

Segundo o ICZ (2020), o zinco é abundantemente encontrado na natureza como, por exemplo, no ar, solo e água. Como consequência da contínua atividade natural de erosões, erupções vulcânicas, atividades biológicas, incêndios florestais e entre outras, o zinco é movimentado no meio ambiente e dessa forma se faz presente em várias partes da Terra.

Conforme Santos (2010), o zinco é comumente encontrado na forma de sulfetos, ligado ao chumbo, ferro e prata. Este minério é propício a transformações que dão origem a óxidos, carbonatos e silicatos de zinco. As atividades mineradoras principais são realizadas em rochas vulcânicas, que são as jazidas exhalativas, e em rochas sedimentares de composição carbonática. Os principais minerais de zinco podem ser observados na Tabela 1:

Tabela 1: Principais minerais de zinco

PRINCIPAIS MINERAIS DE ZINCO		
Mineral	Composição	% Zn contido
Esfalerita	ZnFeS	67,00%
Hemimorfita	Zn ₂ SiO ₄	54,20%
Smithsonita	ZnCO ₃	52,00%
Hidrozincita	2ZnO ₃ .3Zn(OH) ₂	56,00%
Calamina	2ZnO.SiO ₂ .H ₂ O	54,00%
Zincita	ZnO	80,30%
Willemita	Zn ₂ SiO ₄	58,50%
Franklinita	Zn,MnFe ₂ O ₄	15,00 a 20,00%

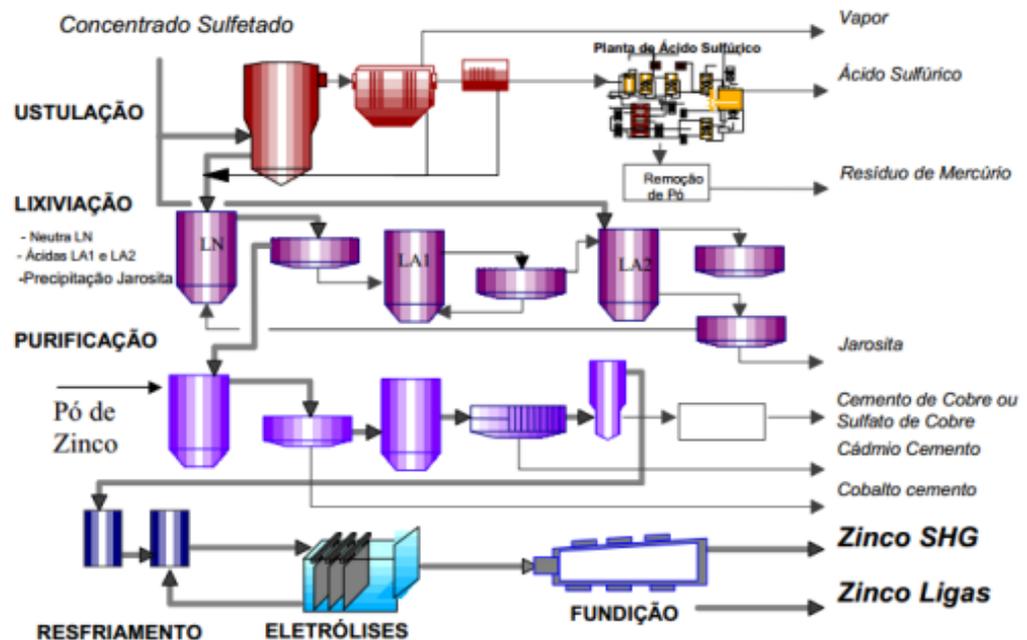
Fonte: Betekhine (1968)

O metal zinco pode ter duas classificações de acordo com a sua fonte: o zinco primário que é a grande maioria do produzido (aproximadamente 85%) e o processo eletrolítico é a sua principal forma de produção; e o zinco secundário que tem como origem sucatas e resíduos (JESUS, 2001).

A cadeia de produção do zinco tem seu início com a extração do mineral, que pode acontecer tanto a céu aberto quanto em jazidas subterrâneas. No Brasil, a produção ocorre em dois Estados, um é o Mato Grosso e outro é Minas Gerais. Após a extração, os minerais passam por um processo de trituração para posteriormente serem submetidos a flotação, onde será obtido o mineral concentrado. Os minerais que apresentam maior teor de ferro são tratados por via seca. Então, o concentrado é calcinado com o objetivo de oxidar o sulfeto em óxido, o qual em seguida é reduzido pela adição de carbono, e por fim resulta na obtenção do metal. Já por via úmida, o minério é calcinado para obtenção do óxido, que depois é lixiviado com ácido sulfúrico diluído. O resultado da lixiviação, a lixívia, passa pelo processo de purificação para que haja a separação dos diferentes componentes existentes nela, em especial o sulfato de zinco. Com este último, é realizado o processo de eletrólise com ânodo de chumbo e cátodo de alumínio, sobre o qual se deposita o zinco. Por fim, o zinco resultante de todo esse processo é lingotado para que finalmente seja feita a sua comercialização (SANTOS, 2010).

De acordo com Santos (2009), uma das principais tecnologias que existem para a produção de zinco é o processo “Ustulação-lixiviação-eletrólise” ou também comumente chamando de *Roasting-Leaching-Electrolysis* (RLE), o qual é utilizado por cerca de 85% das usinas metalúrgicas de zinco do mundo. Este processo basicamente se resume à ustulação do concentrado sulfetado, depois ocorre uma lixiviação atmosférica, remoção das impurezas e eletrorrecuperação do metal. A principal vantagem deste processo está no alto grau de pureza obtido no metal. A rota básica desta tecnologia pode ser melhor visualizada na Figura 1:

Figura 1: Fluxograma esquemático para produção de zinco segundo a rota Ustulação-Lixiviação-Eletrólise



Fonte: Svens (2003)

Segundo Santos (2009), o processo RLE é composto por cinco etapas principais:

- Ustulação: esta etapa inicial tem o objetivo de converter o concentrado de sulfeto de zinco em um concentrado de óxido de zinco para que seja lixiviado em solução de ácido sulfúrico.
- Lixiviação neutra e ácida: neste segundo momento, o calcinado ou ustulado é lixiviado. O óxido de zinco é lixiviado com solução fraca de ácido sulfúrico e a ferrita de zinco passa por uma lixiviação com condições mais agressivas de acidez
- Purificação do licor: a principal finalidade desta etapa é a formação de um precipitado cristalino com boa filtrabilidade e a remoção das impurezas com As, Ge e Sb.
- Purificação 2 (cimentação de impurezas): dando continuidade à purificação com essa segunda etapa, agora o objetivo é a remoção de uma série de metais mais nobres que o zinco metálico, por meio da reação de cimentação com pó de zinco.
- Eletrólise: nesta fase, a solução resultante da purificação é alimentada nas cubas eletrolíticas, onde há ânodos de chumbo-prata intercalados

com cátodos de alumínio. Quando uma corrente elétrica contínua passa pelas cubas, o zinco puro é depositado no cátodo e posteriormente é retirado conforme o programado.

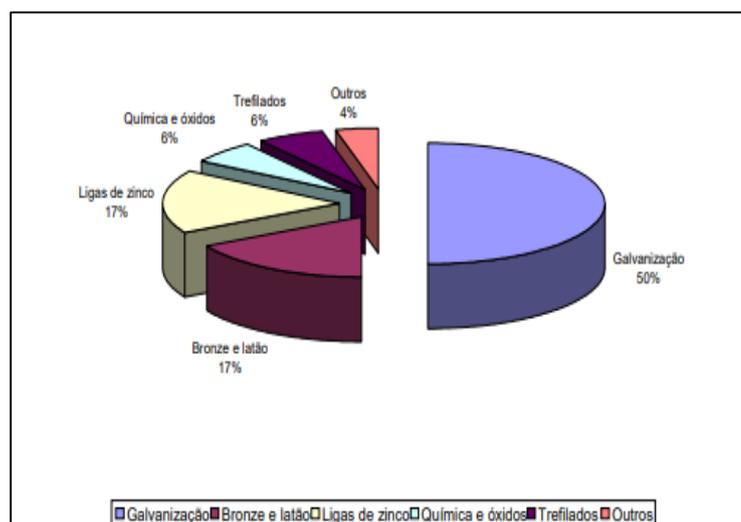
Por fim, por meio da fundição das folhas catódicas oriundas da eletrólise, os lingotes de zinco são obtidos na forma de zinco *Special High Grade* (SHG) ou ligas de zinco (MAGALHÃES FILHO, 2000).

2.1.2 Consumo Setorial de Zinco

Como o maior destino dos produtos resultantes da metalurgia do zinco, a galvanização se destaca. Este processo tem como principal função fornecer um revestimento protetor, que é alcançado por meio da imersão ou eletrodeposição, de aços estruturais, folhas, chapas, tubos, fios e entre outros. Esta finalidade do zinco tem uma taxa de crescimento maior se comparada com outras utilizações e representou aproximadamente 50% do consumo do metal no mundo e cerca de 50% do zinco consumido no Brasil em 2007. As principais aplicações da galvanização são nos setores automobilístico, construção civil, utensílios domésticos e comerciais (SANTOS, 2010).

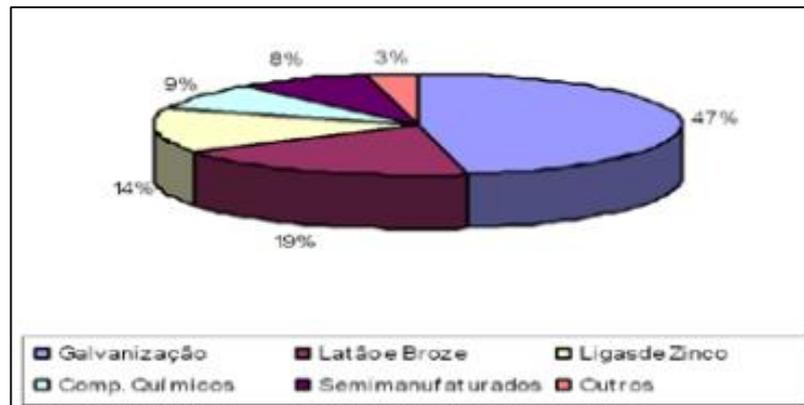
O Gráfico 1 e 2 apresentam melhor o consumo setorial do Zinco em uma escala global e nacional, respectivamente.

Gráfico 1: Consumo setorial do Zinco no mundo



Fonte: Ilzsg (2010)

Gráfico 2: Consumo setorial do Zinco no Brasil



Fonte: Icz (2010)

As ligas de bronze e latão são preferencialmente usadas em acessórios elétricos enquanto os laminados são destinados à utilização em pilhas e baterias. Além disso, os óxidos são geralmente aplicados na indústria de borrachas, cerâmicas e também de tintas. Já o sulfato de zinco é usado na indústria têxtil e como fonte de enriquecimento de solos pobres em zinco. Além do mais, como desodorizante de diversos fluidos o cloreto de zinco é uma ótima opção, assim como para preservar madeiras (SANTOS, 2010).

2.2 ZAMAC

O avanço da humanidade no que tange às tecnologias é inevitável. De tempos em tempos, é notado o aparecimento delas e o ganho que as mesmas proporcionam são bem significantes. Em meio a isso, por volta de 1920, as ligas de zinco (ligas não-ferrosas) foram desenvolvidas principalmente para serem utilizadas no processo de fabricação chamado fundição sob pressão. Dentre elas, existe o Zamac, que é uma abreviatura dos nomes dos elementos químicos que compõem a liga. O Zamac é composto basicamente por Zinco, Alumínio, Cobre e Magnésio, mas também se faz presente na sua composição elementos como o Ferro, Cádmio, Chumbo, Estanho e Níquel (SARAC, 2018)

2.2.1 Tipos de Liga de Zamac

Existem tipos de Zamac que são utilizados de acordo com cada finalidade. Esses tipos têm suas composições químicas especificadas por normas, como por exemplo, a norma internacional ASTM B240-07 que segue abaixo:

Tabela 2: Composição química das ligas de Zamac comumente comercializadas

Elementos	Zamac 2		Zamac 3		Zamac 5		Zamac 7	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
Al	3,9	4,3	3,9	4,3	3,9	4,3	3,9	4,3
Mg	0,025	0,05	0,03	0,06	0,03	0,06	0,01	0,02
Cu	2,7	3,3	-	0,1	0,7	1,1	-	0,1
Fe		0,035	-	0,035	-	0,035	-	0,75
Pb		0,004	-	0,004	-	0,004	-	0,003
Cd		0,003	-	0,003	-	0,003	-	0,002
Sn		0,0015	-	0,0015	-	0,0015	-	0,001
Ni	0,001		-		-		0,005	0,02
Zn	Restante		Restante		Restante		Restante	

Fonte: ASTM B240 (2007)

A Tabela 2 mostra as ligas de Zamac mais usadas comercialmente e são mais detalhadas a seguir:

O Zamac 2 é o que apresenta maior dureza e resistência à tração se comparado com as ligas mencionadas na tabela 1. Este fato deve-se ao seu alto teor de Cobre na sua composição, o que também ocasiona uma redução na ductilidade e o torna menos resistente ao impacto (VOTORANTIM, 2007 *apud* SOARES 2008).

Outro tipo de liga é o Zamac 3, que é amplamente usado nos Estados Unidos. Esta liga apresenta alta ductilidade e resistência a corrosão, além de ter como características uma boa resistência ao impacto e o favorecimento de um ótimo acabamento em pintura e tratamentos superficiais como cromação e galvanização. Outro diferencial também é uma maior estabilidade dimensional se comparado ao Zamac 5. Como exemplo de aplicações dessa liga, têm-se peças fundidas sob

pressão como porcas, conexões, acessórios de engrenagem, parafusos e etc (NEXA, 2017).

Uma liga bastante utilizada no continente europeu e no Brasil é o Zamac 5. Pelo fato de conter em sua composição química uma quantidade significativa de Cobre, essa liga se destaca por suas propriedades mecânicas. Suas principais características são boa fundibilidade, bom desempenho em acabamentos, uma maior resistência à tração e tensão e também possui deformação lenta sob tensões constantes. O Zamac 5 é muito empregado em diversos setores como a indústria automobilística, eletroeletrônica, moveleira, ferragista, registros e válvulas de segurança, entre outros (NEXA, 2017).

Por último, mas não menos importante, o Zamac 7 é uma versão melhorada da liga de Zamac 3. Sua composição química tem um baixo teor de magnésio, fato que permite uma melhor fundibilidade e um excelente acabamento superficial. Outra característica importante é a alta ductilidade, que é a mais alta entre as ligas de Zamac (VOTORANTIM, 2007 *apud* SOARES, 2008).

2.2.2 Características da Liga de Zamac

Levando em consideração todas as ligas não-ferrosas que são usadas em processo de fundição, o Zamac sai na frente, pois possui um maior campo de consumo. Isso deve-se ao fato de uma ótima combinação de características que essa matéria-prima apresenta. Dentre elas, existem as propriedades físicas e mecânicas que atendem de forma satisfatória o mercado. Além disso, a liga de Zamac se comporta muito bem quando o assunto é revestimento. Ela tem uma boa capacidade de ser revestida por eletrodeposição como, por exemplo, cobreação, niquelação e cromação ou por pintura com tintas e vernizes (ICZ, 2020).

Outra característica relevante é o baixo ponto de fusão da liga que é aproximadamente 385 °C. Isso permite que o molde tenha uma maior durabilidade, conferindo perenidade a ele. Diante disso, o Zamac apresenta-se como uma excelente matéria-prima para grandes produções seriadas (ICZ, 2020).

Ainda segundo ICZ (2019), mais um ponto positivo ao usar a liga de Zamac é grande fluidez que ela possui. Isso ajuda na obtenção de peças que tenham

formas com maior complexidade e também paredes mais finas. Além disso, ela pode ser útil para fabricar peças por meio da fundição por gravidade em moldes permanentes ou fundição centrífuga. Por fim, é uma liga que tem a característica de ser facilmente usinada.

2.2.3 Influência dos Elementos Químicos na Liga de Zamac

O alumínio é considerado o melhor elemento químico para ser adicionado ao zinco para que possa se obter maior fluidez e produção de um refino de grão na estrutura para melhorar as propriedades mecânicas. Outra vantagem dessa adição é a redução da ação corrosiva que o zinco líquido tem nas superfícies da máquina e das ferramentas de injeção que contêm aço. Nas ligas de Zamac, o teor nominal de alumínio é de 4%. Essa porcentagem garante ao Zamac melhores características no processo de fundição. Caso a quantidade de alumínio fosse maior, o peso específico, a ductilidade e a resistência ao impacto seriam menores. Porém, algumas características como, por exemplo, resistência à tração, fadiga e elasticidade aumentariam. Entretanto, um teor de alumínio próximo a 3,5%, a fundibilidade seria comprometida, sendo necessário o aumento da temperatura para manter a fluidez adequada para produzir peças com formatos mais complexos (VOTORANTIM, 2010).

O cobre é outro elemento que produz influência significativa nas ligas de Zamac. Ele é usado em concentrações nominais variando de 0,7% a 3,3% para que se consiga uma matéria-prima com maior resistência mecânica, dureza e também uma maior resistência à fluência. Se a quantidade desse elemento químico for em maior quantidade, como consequência a ductilidade é reduzida. De acordo com testes, quando a liga possui um teor de cobre igual a 1%, um limite de estabilidade de envelhecimento é estabelecido. Diante disso, as ligas de Zamac 3 e Zamac 5 são consideradas mais estáveis. Outro ponto importante é que se houver necessidade de alta precisão dimensional na peça, uma liga isenta de cobre deve ser a escolhida (VOTORANTIM, 2010).

Mais um elemento que influencia de forma considerável é o magnésio. Ele é usado em concentrações que variam de 0,01% a 0,06%. A função principal da sua presença na liga é a compensação dos efeitos causados por impurezas metálicas

como, por exemplo, o cádmio, chumbo e latão. Esse elemento também contribui com a redução da corrosão intergranular. Outra forma de agregar valor à liga de Zamac é por meio de uma maior dureza e uma pequena redução na ductilidade. Uma quantidade desse metal excedendo os 0,06% na liga de Zamac pode ocasionar uma redução na fluidez e também provocar uma fragilidade a quente na peça fundida (VOTORANTIM, 2010).

A presença das impurezas como Cádmio, Chumbo e Estanho não são desejáveis na composição da liga de Zamac, porém são aceitáveis desde que obedecem a níveis muito baixos. Pois, a concentração desses elementos, mesmo que pequena, podem causar corrosão intergranular. Esse fenômeno começa na superfície da peça fundida, com o tempo ganha uma maior profundidade até chegar aos contornos de grão. A partir disso, toda a peça pode ser comprometida por conta da corrosão (VOTORANTIM, 2010).

O Ferro é mais um elemento indesejado nas ligas de zinco, todavia em baixos teores não ocasiona muita influência nas propriedades mecânicas. Se houver a presença desse elemento em elevada quantidade, partículas intermetálicas se formam e como consequência aumenta a dificuldade no momento da usinagem, podendo até danificar o maquinário (VOTORANTIM, 2010).

2.2.4 Propriedades Físicas e Mecânicas da Liga de Zamac

Existem várias organizações espalhadas pelo mundo que produzem diversos tipos de normas técnicas. Estas normas direcionam empresas e profissionais quanto ao conhecimento de características de um determinado produto, serviço ou processo. No caso da liga de Zamac, para se conhecer algumas de suas propriedades, pode-se recorrer à norma técnica produzida pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), que é um órgão estadunidense de normalização. As propriedades mecânicas da liga de Zamac 3 podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades mecânicas das ligas de Zamac

Propriedades	Unidades	Zamac 3	Zamac 7	Zamac 5	Zamac 2
--------------	----------	---------	---------	---------	---------

Resistência à tração	MPa	283	283	328	359
Limite de escoamento	MPa	221	221	228	
Limite de escoamento por compressão	MPa	414	414	600	641
Alongamento	%	10	13	7	7
Resistência ao cisalhamento	MPa	214	214	262	317
Dureza	Brinell	82	80	91	100
Resistência ao impacto	J	58	58	65	47
Resistência à fadiga	MPa	47,6	46,9	56,5	58,6
Módulo de Young	MPa x 10 ³	≥85,5	≥85,5	≥85,5	≥85,5
Módulo de torção	MPa x 10 ³	≥33,1	≥33,1	≥33,1	≥33,1

Fonte: ASTM B86 (2013)

Porém, o Centro de Estudos e Aplicações de Vieille-Montagne realizou diversos testes para avaliar alguns parâmetros do processo de fundição que influenciam as propriedades da liga de Zamac. Observou-se que é possível mudar o valor de algumas propriedades se alguns parâmetros forem modificados. Foi levado em consideração parâmetros como espessura da parede, velocidade de injeção, temperatura do molde e resfriamento da peça. Como resultado, as ligas de Zamac 3 e 5 apresentaram uma maior influência da espessura da parede na propriedade de tração. Se houver reduções na espessura da peça, haverá um aumento de resistência mecânica. Isto também acontecerá caso o molde tiver baixas temperaturas e se o resfriamento da peça for realizado em água. Mas, se a configuração for diferente e a espessura da parede for maior, o resfriamento for a ar e a temperatura do molde estiver elevada, a propriedade que aumenta é a ductilidade. Em relação a velocidade de injeção, é preferível uma baixa velocidade

por conta de uma melhor interação com os outros parâmetros do processo (VOTORANTIM, 2010).

A Tabela 4 abaixo permite visualizar melhor o resultado dos estudos referentes às propriedades mecânicas e também mostra algumas propriedades físicas das ligas de Zamac.

Tabela 4: Propriedades físicas e mecânicas das ligas de Zamac para fundição

Propriedade	Unidades	Zamac 3	Zamac 5	Zamac 2
Limite de escoamento	MPa	268	295	361
Limite de resistência à tração	MPa	308	331	397
Módulo de Young	GPa	96	96	96
Módulo de torção	MPa x 10 ³	33+	33+	33+
Alongamento em ruptura	%	5,8	3,4	6
Resistência ao cisalhamento	MPa	214	262	317
Limite de escoamento por compressão	MPa	414	600	641
Resistência ao impacto	Joules	46	52	38
Resistência à Fadiga (5.10 ciclos)	MPa	48	57	59
Dureza	Brinell	97	114	130
Tenacidade à fratura K _{IC}	x 10 ³ N.m ^{-3/2}	2,25	2,1	-
Densidade	g/cm ³	6,6	6,7	6,8
Capacidade de amortecimento a 35 MPa	%	18	-	-
Capacidade de amortecimento a 100 MPa	%	40	-	-
Coeficiente de expansão térmica	µm/m°C	27,4	27,4	27,8
Condutividade térmica	Wm ⁻¹ °K ⁻¹	113	109	105
Condutividade elétrica	% IACS	27	26	25
Resistividade elétrica	µ ohm - cm	6,37	6,54	6,85
Intervalo de temperatura de fusão	°C	381-387	380-386	379-390
Calor específico	J/kg°C	419	419	419
Coeficiente de atrito	-	0,07	0,08	0,08
Precisão típica em mais de 100 mm	± µ	100	100	100
Espessura de parede mínima	mm	0,4	0,4	0,4
Velocidades típicas de produção	injeções por hora	"Grande 200-500. Pequeno 400-1.000. Muito pequeno 2.000-3.000."		
Varição de velocidade de produção	injeções por hora	200-3.600		
Ciclo de vida típico de ferramenta	injeções	750.000-2.000.000		

Fonte: Votorantim (2010).

2.3 FUNDIÇÃO

Um dos processos de fabricação mais antigos é conhecido como fundição, que pode ser definido de acordo com Chiaverini (1986) como o processo onde o metal líquido ou fundido é derramado dentro de uma fôrma, a qual possui o formato conforme o desenho da peça que será produzida. A fôrma recebe o nome de molde, que possui uma cavidade que, por sua vez, pode ser definida como o negativo da peça que se anseia fabricar. Essa cavidade pode ter a forma quase definitiva da peça real, ou seja, da peça que foi projetada, e posteriormente necessitará apenas de poucos processos de acabamento.

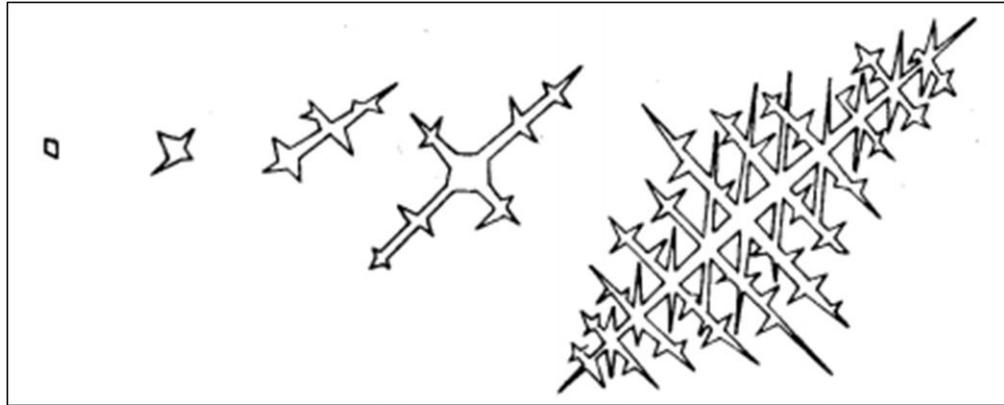
De acordo com Callister e Rethwisch (2012), esse processo de fabricação é empregado principalmente quando: qualquer outro tipo de processo seria impraticável devido ao tamanho da forma final ser muito grande ou possuir um grau de complexidade relativamente alto; a ductilidade do material a ser fundido é muito baixa a ponto de não ser viável conformá-lo por meio de trabalho a quente ou a frio; se comparado com outros métodos de fabricação, a fundição é considerada a mais econômica.

Segundo Baldam e Vieira (2014), a fundição é um dos processos mais econômicos quando o objetivo é produzir várias peças metálicas em série. Ainda diz que normalmente as etapas do processo de fundição são: projeto e confecção do modelo, confecção do molde e dos machos, derramamento do metal líquido, desmoldagem e acabamento.

Conforme Chiaverini (1986), ocorrem alguns fenômenos durante a solidificação do metal líquido no interior do molde, os quais podem ocasionar heterogeneidades que se não forem bem controladas, podem influenciar negativamente na qualidade das peças fundidas e conseqüentemente elas serão rejeitadas. O primeiro desses fenômenos é a cristalização que pode ser entendida como a formação das primeiras células cristalinas unitárias que têm a função de ser o ponto inicial (núcleo) para um posterior crescimento dos cristais, os quais darão forma aos grãos definitivos e à estrutura granular do metal. Cada núcleo de cristalização se expande até formar um tipo de cristal chamado de dentrita, a qual cresce até encontrar-se com outra dentrita e assim formam-se os grãos e contornos

de grão. O crescimento do núcleo de cristalização pode ser melhor observado na Figura 2:

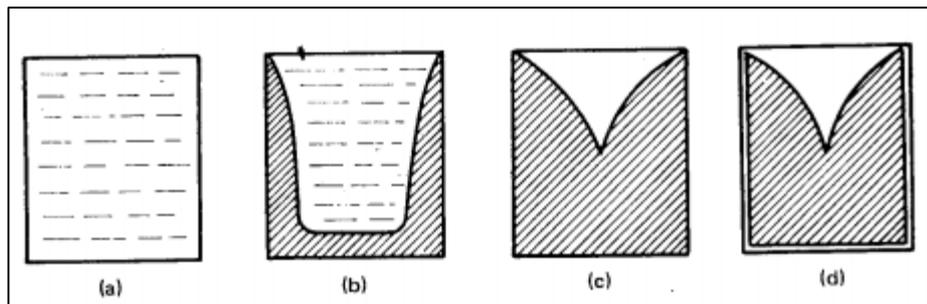
Figura 2: Crescimento do núcleo de cristalização



Fonte: Chiaverini (1986)

O segundo fenômeno é a contração de volume que ocorre quando os metais se solidificam. Essa contração dá origem a uma heterogeneidade que recebe o nome de vazios ou chupagem. A Figura 3 ilustra a sequência da contração de volume.

Figura 3: Fenômeno da contração de volume com a chupagem resultante



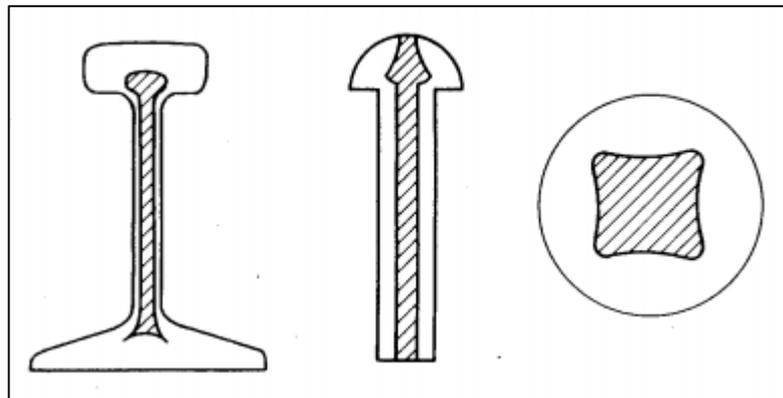
Fonte: Chiaverini (1986)

No momento (a) o metal encontra-se todo no estado líquido, seguindo para o momento (b) onde começa a solidificação pela periferia por conta de a temperatura ser mais baixa nesses pontos. Nos momentos (c) e (d) é representado a chupagem que é uma consequência da diferença entre os volumes no estado líquido e no estado sólido final. Além da chupagem, outras consequências da contração de

volume são: aparecimento de trincas a quente e aparecimento de tensões residuais (CHIAVERINI, 1986).

Ainda de acordo com o mesmo autor, mais um fenômeno é a concentração de impurezas. A presença de algumas impurezas em algumas ligas metálicas é dada como normal. Porém, essas impurezas têm comportamentos diferentes quando estão no estado líquido e no sólido. Quando ocorre o processo de solidificação, algumas impurezas são menos solúveis no estado sólido e então são acumuladas na última parte que se solidifica, que é o interior da peça. Essa concentração de impurezas constitui a chamada segregação, a qual acaba deixando a peça com uma composição química não uniforme, o que pode até influenciar nas propriedades mecânicas. Pode-se observar na Figura 4 exemplos de como a segregação acontece.

Figura 4: Segregação em peças laminadas e forjadas



Fonte: Chiaverini (1986)

O último fenômeno apresentado pelo mesmo autor é o desprendimento de gases. Ele ocorre principalmente nas ligas ferro-carbono pois o oxigênio que é dissolvido no ferro busca ligação com o carbono, o que forma os gases CO e CO₂ que escapam com facilidade quando o metal ainda está no estado líquido. Conforme o material vai se solidificando, o escape dos gases para a atmosfera fica mais difícil e os mesmos acabam presos no interior da peça na forma de bolhas. Estas nem sempre são prejudiciais, todavia devem ser evitadas principalmente em aços de alto carbono por meio da adição de desoxidantes no metal líquido.

De acordo com Baldam e Vieira (2014), devido às características do processo de fundição, há muitas aplicações possíveis para esse método de fabricação como, por exemplo, eletrodomésticos, equipamentos de elétrica, indústria de bens de capital, saneamento e água para cidades, setor automotivo, brinquedos, setor aeroespacial, equipamentos de informática e entre outras. Conforme a finalidade, há um processo de fundição que melhor vai atender às características da peça que se deseja fabricar. Os principais processos de fundição são moldagem em areia, moldagem em casca, sob pressão, *shellmolding*, *cold box*, fundição de precisão, centrífuga e alta precisão. Entretanto, neste trabalho será detalhado apenas o processo de fundição sob pressão, pois é este que se utiliza para trabalhar com a liga de Zamac.

2.3.1 Fundição Sob Pressão

O processo de fundição sob pressão consiste basicamente em injetar, com a velocidade e a pressão controlada, o metal fundido na cavidade de um molde que é chamado de matriz. Esta é fabricada em metal resistente a elevadas temperaturas, ou seja, pode ser usada várias vezes e a sua cavidade é feita por meio de usinagem bem precisa. A matriz geralmente é constituída por duas partes que, no momento em que o metal líquido é vazado, são fechadas hermeticamente (CHIAVERINI, 1986).

O tempo necessário para o preenchimento do molde varia de milissegundos a segundos dependendo do tamanho dos componentes que serão fabricados. Esse preenchimento deve ser assim, de forma rápida, para que o metal não comece a se solidificar no momento indesejado. Para que isso ocorra, o molde é mantido a uma temperatura aproximada de 150 °C abaixo da temperatura que o metal se solidifica, o que ajuda a desenvolver propriedades na peça que não são alcançadas por outros tipos de processo (VOTORANTIM, 2010).

A alta pressão de injeção, que gira em torno de 16 a 69 MPa, permanece até que o metal líquido seja totalmente solidificado e também para que haja o preenchimento completo de todos os espaços destinados para evasão do ar, assim como de toda a cavidade do molde. Depois que ocorre a injeção da peça, às vezes ela segue para o processo de usinagem para que sejam retiradas algumas rebarbas

(ou para realizar outras operações de usinagem) ou, em muitas situações, a peça já possui a sua forma final produzida pelo fato da alta precisão que a fundição consegue obter com alguns materiais como, por exemplo, as ligas de zinco. Associando ciclos curtos de tempo à capacidade de obter uma grande quantidade de peças por ciclo, o processo torna-se vantajoso para um volume de produção elevado (VOTORANTIM, 2010).

Com o passar do tempo, o processo de fundição ficou mais desenvolvido e como consequência disso hoje em dia já é possível obter peças com características que antes eram consideradas inalcançáveis como, por exemplo, peças com espessuras menores de parede, furos sem a necessidade de desbaste com tolerância muito próxima, e também acabamento de superfícies. Atualmente, os olhares são mais voltados para os critérios estruturais da peça e menos para as limitações do processo. Isso deve-se ao fato do uso de sistemas mais tecnológicos que ajudam no fluxo do metal para fundição, além de sistemas de vácuo que possuem a finalidade de eliminar a porosidade no processo e também ajudar no preenchimento de peças mais complexas (VOTORANTIM, 2010).

Como qualquer outro processo, a fundição sob pressão possui vantagens e desvantagens. Em relação a isso, Baldam e Vieira (2014) listaram algumas vantagens:

- Peças de liga de alumínio fundidas sob pressão apresentam maiores resistências se comparadas com as peças fundidas em areia;
- Peças fundidas sob pressão não precisam de tanto preparo para receber tratamento de superfície;
- Produção de peças com formas mais complexas, paredes mais finas e tolerâncias dimensionais mais estreitas;
- Alta capacidade de produção e durabilidade maior das matrizes.

Os mesmos autores também listaram algumas desvantagens:

- Limitações do processo quanto ao tipo de ligas que podem ser utilizadas;
- Limitações quanto ao peso das peças que serão fabricadas, pois geralmente são inferiores a cinco quilos;

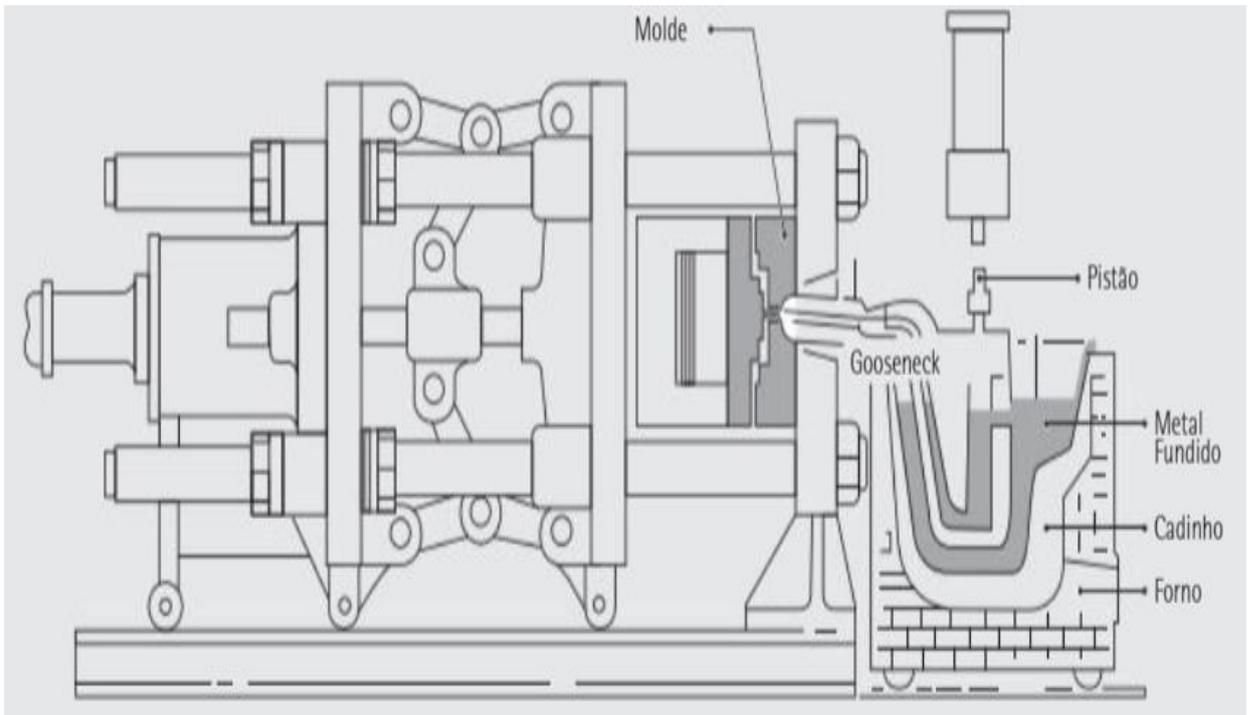
- Presença de ar na parte interna das matrizes que causam peças com porosidade e incompletas;
- Custo elevado do maquinário, ou seja, o processo só é recomendado para um grande volume de peças.

Finalizando o raciocínio do mesmo autor, o processo de fundição sob pressão é muito empregado na indústria automobilística por meio da produção de peças como, por exemplo, tampas de válvulas, fechaduras, carcaça de motor de arranque, maçanetas e caixas de câmbio de máquinas agrícolas. Outro setor que utiliza bastante esse processo é a indústria aeronáutica que tem peças fabricadas em ligas de alumínio e magnésio. Ou seja, a fundição sob pressão tem sua devida importância no segmento de metal-mecânica.

Basicamente, existem dois ciclos para a fundição sob pressão que são a câmara quente e câmara fria. Geralmente o processo em câmara quente é destinado para a fabricação de peças em ligas de Zamac 3, 5, 7 e ZA-8. Já no processo de câmara fria, usualmente é utilizado ligas ZA-12 e ZA-27. A fundição em câmara quente é empregada quando o metal que será fundido possui um baixo ponto de fusão e não ataca o material das partes do maquinário. Nessas condições, a câmara de injeção e o pistão podem ficar submersos no metal fundido que se encontra no cadinho. A energia necessária para injetar o metal na cavidade do molde vem de uma bomba hidráulica que faz o pistão se movimentar quando há necessidade (VOTORANTIM, 2010).

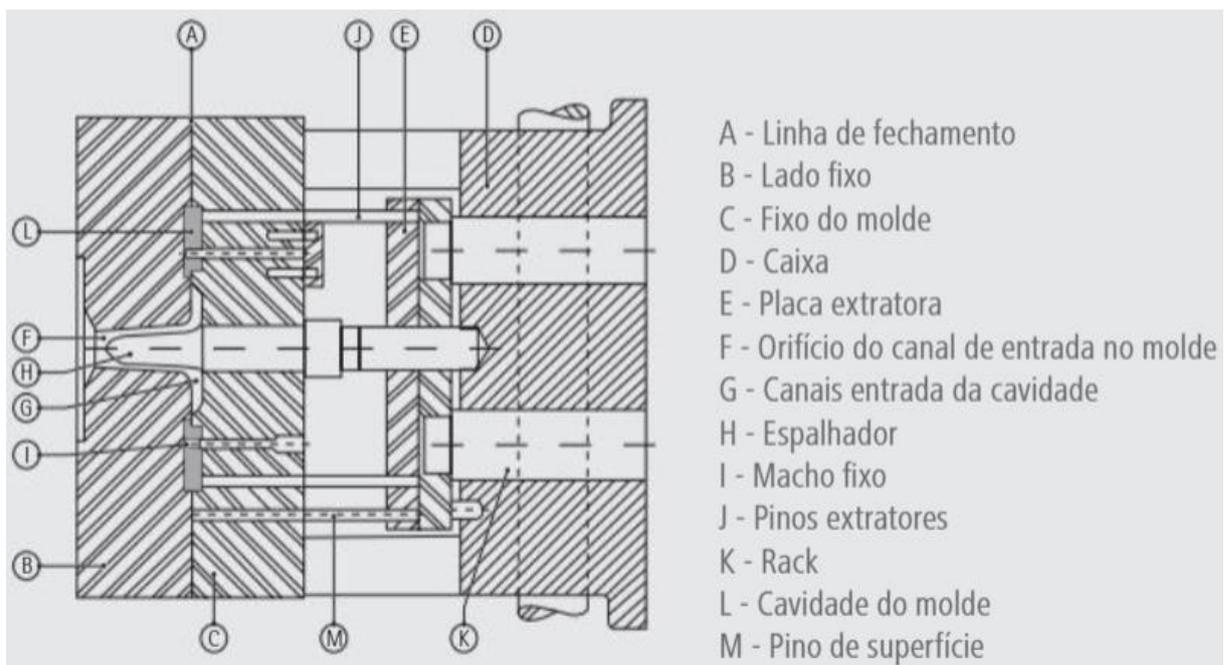
O início do ciclo é marcado pelo fechamento do molde, seguido do acionamento do pistão para baixo, o qual forçará o metal em estado líquido para o interior das cavidades da matriz até que estas sejam totalmente preenchidas e ocorra a solidificação do material. Em seguida, o molde é aberto, a peça é extraída, o cilindro de injeção é alimentado com metal fundido, o pistão retorna para a posição inicial e o ciclo é repetido. Para que a peça tenha uma melhor extração, periodicamente é recomendado a aplicação de um lubrificante no molde. Nas Figuras 5, 6 e 7 é possível visualizar o maquinário utilizado na fundição sob pressão em câmara quente e também uma sequência de operação que ocorre neste processo (VOTORANTIM, 2010)

Figura 5: Seção transversal de uma injetora de câmara quente



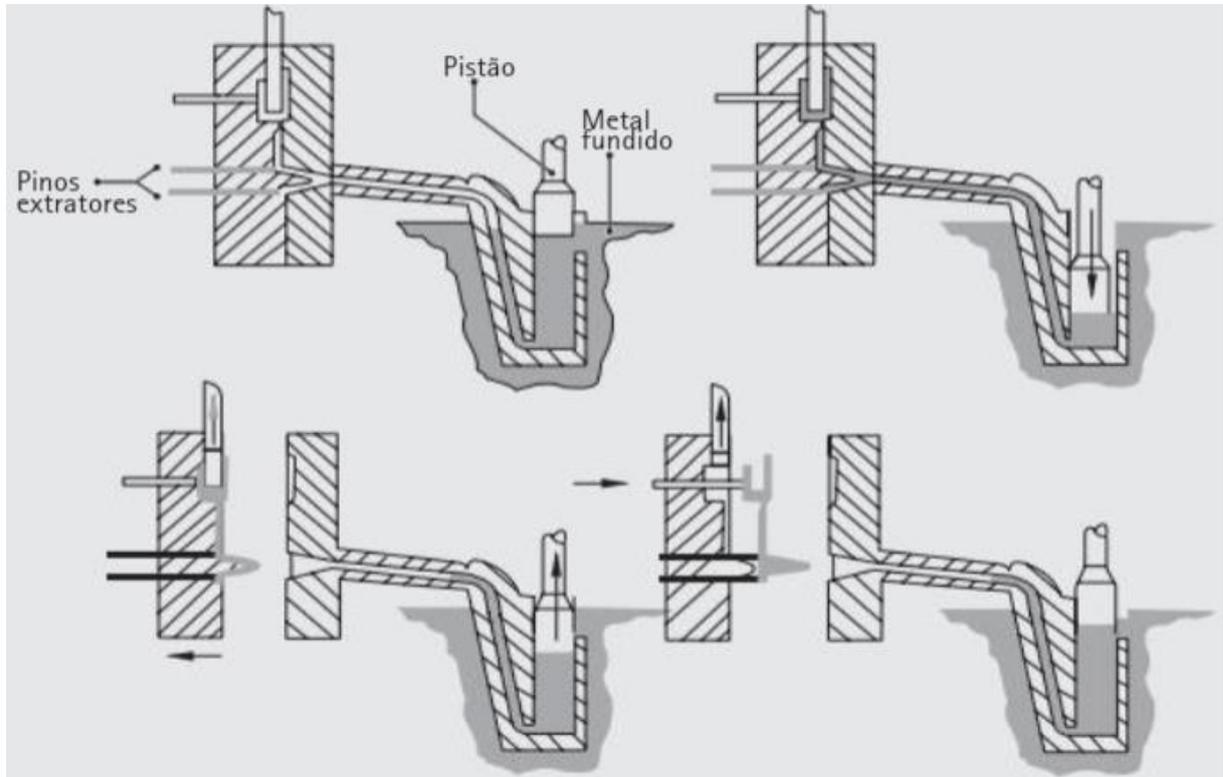
Fonte: Votorantim (2010).

Figura 6: Seção transversal de um molde para fundição sob pressão em câmara quente



Fonte: Votorantim (2010).

Figura 7: Sequência de operação de um ciclo do processo de fundição sob pressão em câmara quente



Fonte: Votorantim (2010).

2.4 RECICLAGEM DE MATERIAIS

Uma das formas de utilizar novamente um material é por meio do processo de reciclagem, que pode ser definido como um conjunto de técnicas que tem a finalidade de converter o resíduo descartado em um material semelhante ao que era antes ou ainda em outro material. Há vários materiais que podem ser reciclados como, por exemplo, o papel, o vidro, o plástico e o metal. Quanto a este último grupo, a reciclagem dele possui uma relevância considerável para a indústria de metais. A sucata de metal que é gerada pode ser dividida em ferrosa e não-ferrosa e ainda subdividida em sucatas pesadas, de processo e de obsolescência. Sucatas pesadas correspondem aos materiais encontrados em “ferro-velho”, já a sucata de processo é aquela gerada na indústria como cavacos, limalhas, rebarbas e peças não-conformes. Por fim, sucatas de obsolescência são os materiais descartados no lixo após serem usados como eletrodomésticos, embalagens (latas de aço) e outros (VASQUES, 2009).

O processo de reciclagem tem a sua devida importância, pois é responsável pela redução de resíduos em aterros, porque os materiais que antes eram destinados ao lixão, agora podem ser encaminhados para a cadeia produtiva novamente. Outro ponto importante quando se fala em reciclagem é a redução do processo exploratório de recursos naturais para a obtenção de matéria-prima virgem, pois quando o material é reciclado ele se torna mais uma fonte disponível de matéria-prima. Mais um ponto relevante é a geração de renda, pois a reciclagem gera empregos para milhares de pessoas por meio da venda de material reciclado, coleta, transporte e triagem. A redução do custo de produção de novos produtos se apresenta como mais um ponto importante em relação a reciclagem, porque quando se considera o custo de produção, o material reciclado possui vantagem econômica considerável com relação a matéria-prima virgem. Por fim, mas não menos importante, o meio ambiente é bastante beneficiado com a reciclagem de materiais pois quando é realizado esse processo, a poluição do ar, do solo e da água são reduzidos consideravelmente pois a produção de materiais é menor e também o descarte inadequado de resíduos é reduzido (ANUÁRIO DA RECICLAGEM, 2019).

Muitas empresas buscam a redução de custos de produção e o máximo aproveitamento de matéria-prima em seus processos produtivos. Uma forma de alcançar esses objetivos é por meio da reciclagem de resíduos que são gerados ao longo da cadeia de produção. Há empresas no mercado que desempenham a atividade de recolhimento dos resíduos das indústrias como, por exemplo, sucata, borra, pingo, fuligem, canal de injetoras, peças reprovadas de zamac e entre outros, e posteriormente realizam a venda dos materiais que foram recuperados e reciclados. É uma atividade econômica que possui garantias quanto a qualidade dos produtos comercializados e também se mostra vantajosa (ALTAMETAIS, 2020).

Segundo a Biblioteca Virtual de São Paulo (2017), muitos metais são reciclados hoje em dia e uma boa parte da matéria-prima que é utilizada nas indústrias tem como origem a reciclagem. Por exemplo, cerca de 65% do ferro usado na indústria vem da reciclagem e quanto ao aço esse percentual gira em torno de 30%. O alumínio é outro metal muito reciclado e possui dados bem interessantes. Cerca de 98% das latas de alumínio são recicladas e dão origem a novas embalagens. Portanto, o processo de reciclagem é um ramo benéfico para o meio ambiente e muitos setores produtivos.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia empregada para realizar um estudo em uma empresa do polo industrial de Manaus/AM, a qual não terá o seu nome e endereço divulgados por medidas de confidencialidade.

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a elaboração da pesquisa, é adotado um proceder metodológico que consiste em familiarizar-se com a problemática por meio da coleta de dados na empresa estudada, além da prática de ensaios para entender alguns aspectos técnicos. Além do mais, há a utilização de outras tipologias de pesquisa que na prática se complementam. Dito isto, aspectos da pesquisa quanto à abordagem, à natureza, aos objetivos e aos procedimentos são descritos a seguir.

3.1.1 Quanto à Abordagem

Este estudo tem características de uma pesquisa quantitativa principalmente pelo uso de gráficos e tabelas. Estes são utilizados para expressar dados coletados na empresa em questão, mostrar informações que embasem o estudo e para expressar resultados de testes realizados com amostras de liga de Zamac reciclada. Entretanto, também se faz presente uma abordagem qualitativa, onde os dados são analisados e interpretados de modo que seja levado em consideração todo o contexto envolvido.

De acordo com Polit, Becker e Hungler (2004), a pesquisa quantitativa, que tem suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana.

Ainda segundo Polit, Becker e Hungler (2004), a pesquisa qualitativa tende a salientar os aspectos dinâmicos, holísticos e individuais da experiência humana, para apreender a totalidade no contexto daqueles que estão vivenciando o fenômeno.

3.1.2 Quanto à Natureza

Neste trabalho se faz presente uma pesquisa básica, pois o estudo tem como objetivo complementar e/ou até mesmo gerar um conhecimento útil a respeito de um determinado assunto, que no caso deste trabalho é a liga de Zamac reciclada. De acordo com Appolinário (2011), a pesquisa básica tem como principal finalidade o avanço do conhecimento científico, sem nenhuma preocupação com a aplicabilidade imediata dos resultados a serem colhidos. Para Gil (2010), a pesquisa básica aglutina estudos que tem como objetivo completar uma lacuna no conhecimento. Portanto, em sintonia com o que dizem os autores citados, esta pesquisa visa colaborar com a expansão do conhecimento acerca da liga de Zamac e o seu aproveitamento de forma mais eficiente.

3.1.3 Quanto aos Objetivos

O tipo de pesquisa utilizado neste trabalho é de caráter exploratório, pois é buscado um maior conhecimento sobre o uso da liga de Zamac reciclada dentro de um contexto que visa a redução de custos. Segundo Gil (2002), a pesquisa exploratória proporciona maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Logo, esta pesquisa se desdobra em um estudo de caso acerca da utilização da liga, buscando entender os principais pontos deste fenômeno. A principal tendência em todos os tipos de estudo de caso, é que estes tentam esclarecer o motivo pelo qual uma decisão ou um conjunto de decisões foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados alcançados (YIN, 2001).

3.1.4 Quanto aos Procedimentos

Com a finalidade de construir um embasamento teórico com os assuntos mais relevantes desse trabalho, faz-se o uso de uma pesquisa bibliográfica. Conteúdos como, por exemplo, Zinco, liga de Zamac, fundição e reciclagem são buscados em fontes confiáveis para dar mais credibilidade à pesquisa. São utilizados livros de autores que são conhecidos na Engenharia Mecânica, além de sites de empresas que trabalham diretamente com esses assuntos. Consoante a

Fonseca (2002), a pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto.

Ainda quanto aos procedimentos, faz-se presente uma pesquisa documental com o intuito de encorpar ainda mais o trabalho. São usados documentos disponibilizados pela empresa em estudo, assim como relatórios de órgãos brasileiros, manuais técnicos e revistas técnicas disponíveis na Internet. Esse tipo de pesquisa é uma modalidade que recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc (FONSECA, 2002).

Com a finalidade de coletar informações, há também a realização de uma visita técnica ao setor de fundição da empresa estudada, no qual ocorre o problema de desperdício de matéria-prima. Este setor também corresponde ao local de implantação do novo processo, que concretiza a reciclagem dos resíduos oriundos da fundição.

A partir de então, com o objetivo de conhecer algumas características técnicas da liga de Zamac reciclada como, por exemplo, algumas propriedades mecânicas e composição do material, são realizados alguns testes com amostras dessa matéria-prima disponibilizadas pela empresa. Quanto aos aspectos financeiros que envolvem a utilização da liga de Zamac reciclada, são feitas algumas análises em relação ao investimento e retornos positivos para empresa. Essas análises contam, principalmente, com informações internas entregues pela empresa em estudo.

Por fim, para construção dos resultados e discussões e também conclusões levantadas ao final da pesquisa, são realizadas análises partindo de todas as informações presentes no decorrer do trabalho, além de informações externas como, por exemplo, normas técnicas que auxiliam na adequada interpretação de dados coletados.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo do trabalho, são mostradas informações que foram coletadas na empresa estudada, dentre elas, um pequeno histórico da fábrica em questão e a situação do problema de desperdício de matéria-prima que ocorre no setor de fundição. Além disso, é mostrado a implantação do processo de reciclagem da borra de Zamac que advém da fundição. Também é mostrado os resultados dos ensaios de tração e composição química realizados com amostras de material reciclado. Por fim, é apresentado alguns aspectos financeiros acerca da utilização da liga de Zamac reciclada como, por exemplo, o valor do investimento.

4.1 BREVE HISTÓRICO DA EMPRESA ESTUDADA

A empresa em estudo é de origem japonesa e teve o início de suas atividades produtivas na cidade de Manaus no ano de 2006. Logo no ano seguinte, a empresa foi certificada pela *International Organization for Standardization* (ISO) com os sistemas de gestão ISO 9001 e ISO 14001, demonstrando assim o compromisso com a qualidade de seus produtos, para que sempre seja alcançada a satisfação de seus clientes. É uma empresa que faz parte do Polo Industrial de Manaus (PIM) e fornece produtos principalmente para uma fabricante de motocicletas do próprio polo, além de fornecer produtos para uma montadora de automóveis localizada no Estado de São Paulo.

Assim como todas empresas do PIM, esta fábrica sempre está sujeita ao bom desempenho do cenário econômico do país. Portanto, ela já enfrentou algumas crises ao longo de sua existência, forçando-a a se adaptar em cada momento de dificuldade econômica. Por isso, a empresa é adepta de uma gestão que sempre busca a melhoria contínua, o que a torna competitiva no mercado.

4.2 DESPERDÍCIO DE MATÉRIA-PRIMA

A empresa estudada possui a cultura de incentivar os seus colaboradores a realizarem melhorias em seus postos de trabalho. A fábrica conta com eventos anuais com essa finalidade, o que contribui com o surgimento de ideias que ajudam a empresa a se tornar um local melhor para se trabalhar. No âmbito da empresa,

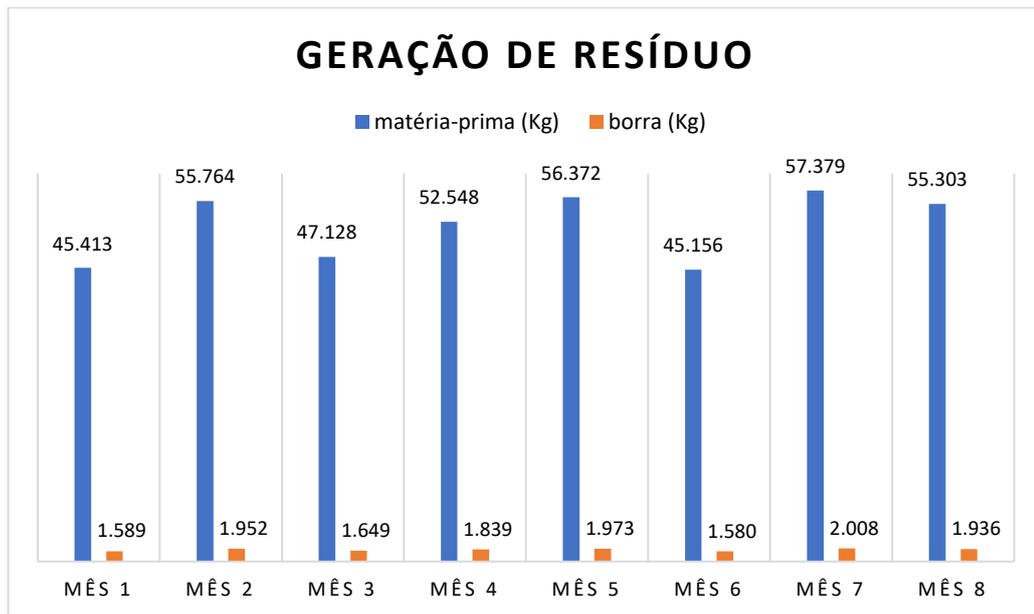
todos saem ganhando. Os colaboradores se beneficiam com um ambiente de trabalho melhor, além receberem o devido reconhecimento por realizar uma melhoria na empresa. Enquanto isso, a fábrica se beneficia ao melhorar os seus processos, tornando-os mais eficientes e eliminando ou minimizando problemas. Além disso, há também a redução de custos e conseqüentemente um aumento no seu lucro.

Dito isso, um dos problemas identificados na empresa foi o desperdício de matéria-prima, que no caso é a liga de Zamac 3, no setor de fundição. Este material é o “carro-chefe” da empresa quando o assunto é matéria-prima. Ele é adquirido pela empresa em forma de lingote, o qual é levado ao setor de fundição para que ocorra o seu derretimento. Nesta etapa da produção dos produtos da empresa, o material é fundido em um vaso resistente a altas temperaturas chamado cadinho. Quando o material se encontra no seu estado líquido dentro do cadinho, inevitavelmente ele entra em contato com a atmosfera e acaba oxidando, formando assim uma borra.

Esta borra é retirada do cadinho, com todos os cuidados necessários por conta da temperatura em que ela se encontra, e depositada em tambores próprios para o seu recebimento. Após isso, os tambores cheios de borra, são transportados para uma determinada área dentro da própria empresa para que seja realizado o correto armazenamento. Depois disso, de forma programada, é realizada a pesagem da borra e posteriormente, uma empresa terceirizada previamente contratada retira o material da fábrica e dá o destino mais adequado a esse resíduo.

De acordo com dados disponibilizados pela empresa, a geração de resíduos no processo de fundição ocorre conforme o Gráfico 3 abaixo:

Gráfico 3: Geração de borra de Zamac 3 no processo de fundição



Fonte: Próprio Autor (2021)

Esses dados registrados pela empresa correspondem à quantidade de matéria-prima que foi utilizada ao longo de 8 meses de um determinado ano, e o quanto foi gerado de borra de Zamac 3 nesse mesmo período. Portanto, baseado nas informações contidas no gráfico acima, do total de matéria-prima que é derretida por mês, cerca de 3,5% se transformam em borra e conseqüentemente seriam descartados.

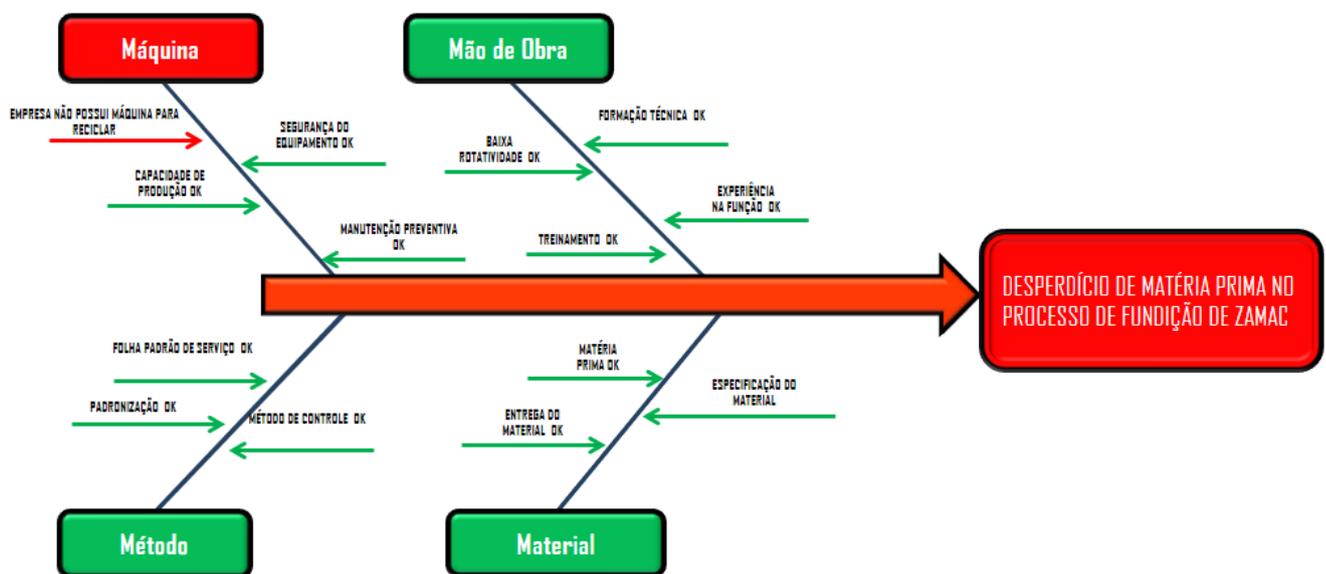
Ou seja, por conta da oxidação desse material no processo de fundição, ao longo de 8 meses seriam desperdiçados cerca de 14.526Kg de matéria-prima em forma de borra de Zamac 3. Essa quantidade de material representada financeiramente equivale ao valor de, aproximadamente, R\$ 291.397,33, conforme levantamento realizado nos dados disponibilizados pela empresa. Vale ressaltar que esse valor é baseado no preço que a matéria-prima tinha no período em que a empresa fez esses registros. Atualmente, esse valor sofreria alguma variação.

Entretanto, fazendo uma projeção para doze meses baseado na média desses oito meses, o total de material que seria desperdiçado passa a ser aproximadamente 21.789 Kg. Essa quantidade de material equivale a um valor financeiro em torno de R\$ 437.095,99.

4.3 RECICLAGEM DA BORRA DE ZAMAC 3

Com o objetivo de promover uma melhoria no processo de fundição quanto ao desperdício de matéria-prima, foi usada uma ferramenta da qualidade chamada Diagrama de Ishikawa. Esse diagrama é muito utilizado pelas empresas justamente para encontrar a relação de causa e efeito de uma determinada situação. Portanto, uma equipe de colaboradores da fábrica aplicou esta ferramenta da qualidade no problema para identificar possíveis causas. Então, a análise ficou conforme a Figura 8:

Figura 8: Diagrama de Ishikawa do desperdício de matéria-prima



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Conforme é ilustrado acima, foram analisados quatro fatores, que são: máquina, mão de obra, material e método. Todos eles se mostraram conformes, exceto o fator máquina. Logo, chegou-se a uma possível causa para o problema apresentado. Foi identificado que não há uma máquina na empresa para que seja feita a reciclagem da borra de Zamac gerada no processo de fundição.

Portanto, a empresa partiu para o mercado em busca de uma máquina para executar a reciclagem do resíduo de Zamac. Como resultado desta pesquisa, foram encontrados 3 tipos de máquinas. Dentre elas, uma máquina de processo manual com um valor aproximado de R\$ 58.300, da marca DJ FORNOS e modelo FORNO-FEZA-2. Este forno tem capacidade de processar 20Kg por ciclo, o qual dura um

tempo de 60 minutos. Além disso, consegue reciclar cerca de 60% do material processado, possui assistência técnica em São Paulo e necessita de uma mão de obra equivalente a 1,15 pessoas.

Outra máquina encontrada foi a de modelo FEZA-2 + MS-450, da mesma marca citada anteriormente. Porém, esta custava cerca de R\$ 77.500 e o seu processamento é semiautomático. Sua capacidade de reciclagem é de 60Kg por ciclo, que dura 90 minutos. Ela tem um aproveitamento de 70% do material processado, conta com assistência técnica no Japão e precisa de 0,57 pessoas como mão de obra.

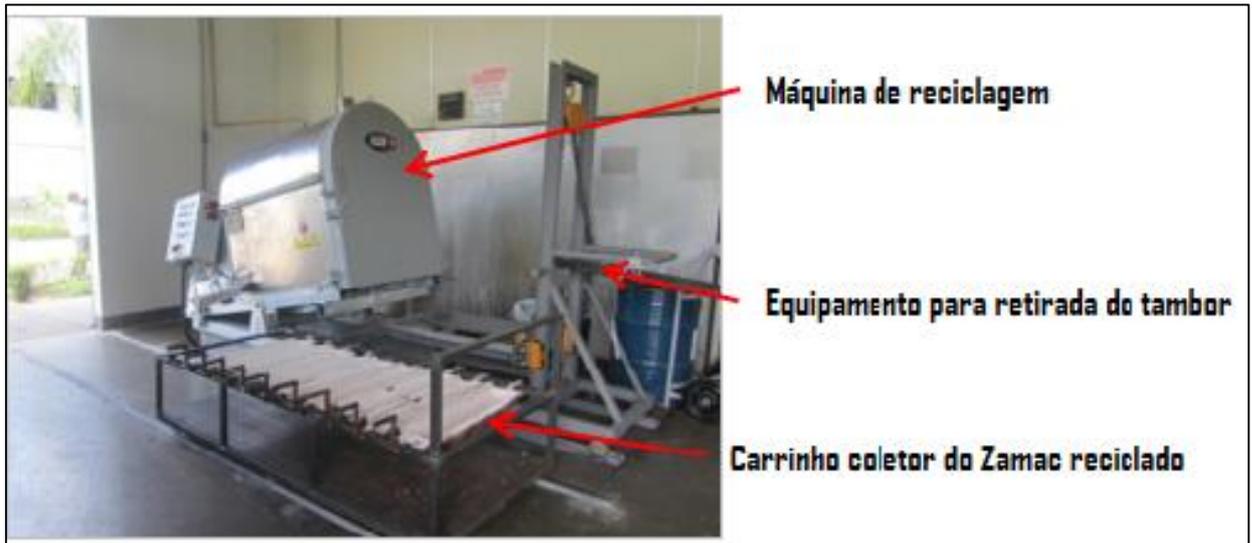
A terceira máquina que foi encontrada é da marca PYROTEK e modelo MZR-750, com processamento semiautomático. Com o maior valor entre as três, cerca de R\$212.800, esta máquina tem a capacidade de processar 750Kg por ciclo, que dura um tempo de 60 minutos. Esta consegue ter um percentual de aproveitamento de aproximadamente 70% do material processado, além de ter sua assistência técnica em São Paulo. Quanto à mão de obra, ela necessita apenas de 0,05 pessoas.

Logo, analisando essas três opções disponíveis, a que mais se mostrou interessante quanto à relação “custo x benefício”, foi a terceira máquina descrita acima. A proposta de aquisição da máquina de reciclagem foi avaliada e aprovada pelo alto escalão da empresa e foi dado início ao processo de implantação desse projeto na fábrica.

4.3.1 Implantação da Máquina de Reciclagem na Fábrica

Além de dispor do aporte financeiro para efetuar a aquisição da máquina, a empresa também precisou definir o melhor local para realizar a instalação da mesma. Chegou-se à conclusão que a máquina seria instalada no próprio setor de fundição, o que facilitaria a sua operação, principalmente quanto à logística dentro da fábrica. Todo o processo de instalação da máquina foi acompanhado de perto por uma equipe do fabricante da máquina e foi dado todo o suporte necessário. Na Figura 9 é possível visualizar como ficou essa instalação nas dependências da fábrica.

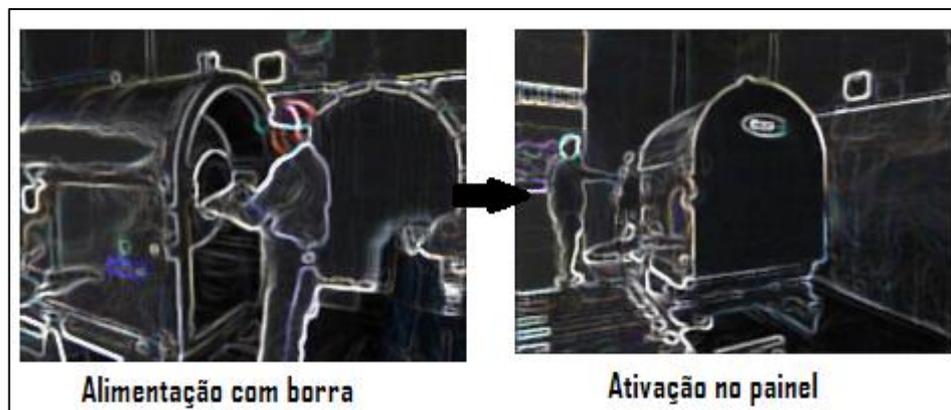
Figura 9: Máquina de reciclagem



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A instalação ocorreu de forma planejada e sem grandes problemas. Então, foi dado início ao processo de operação da máquina para que a borra de Zamac fosse reciclada. A operação da máquina, basicamente, inicia-se com um colaborador alimentando a máquina de reciclagem com a borra gerada no processo de fundição. Após isso, a máquina é ativada pelo seu painel de controle e a mesma passa a reciclar o material. Essas etapas são ilustradas pela Figura 10 a seguir:

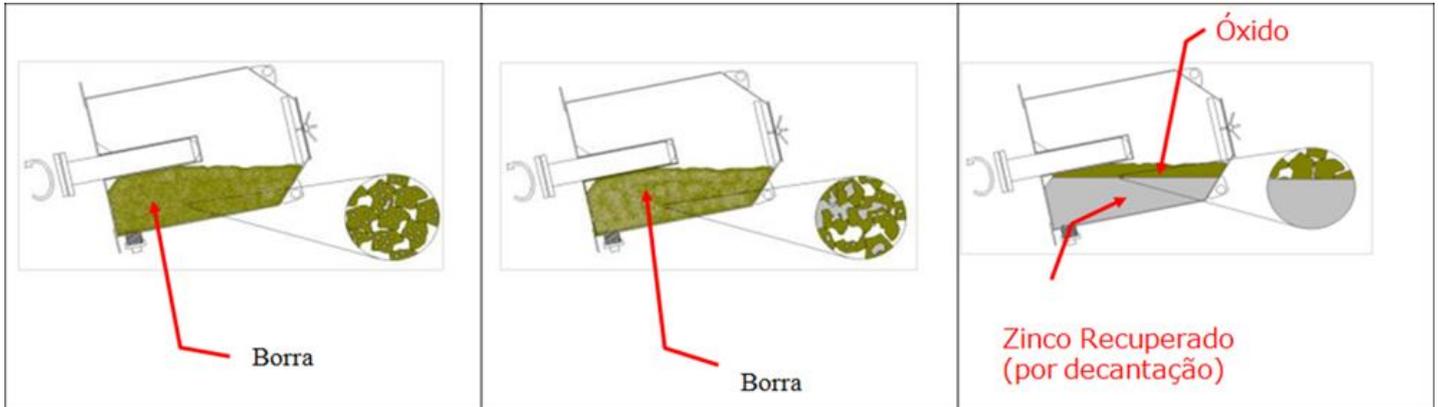
Figura 10: Processo inicial da operação de reciclagem



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

No momento de operação da máquina, esta encontra-se inclinada e o seu tambor interno está em rotação. Enquanto isso, ocorre o derretimento do material dentro do tambor, conforme é ilustrado na Figuras 11.

Figura 11: Máquina de reciclagem inclinada e com tambor interno em rotação

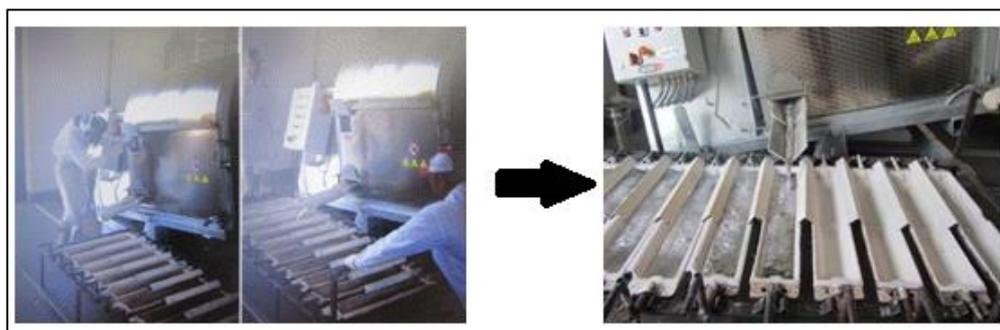


Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Como pode ser observado acima, o processo de reciclagem realizado pela máquina consiste em derreter a borra de Zamac com o tambor em rotação. Com o tempo, por meio do processo de decantação, ocorre a separação do material recuperado do resíduo que será realmente descartado.

Após esse momento, é chegada a hora de retirar o material reciclado, ainda em seu estado líquido, da máquina. Para isso, o material é depositado em um carrinho que possui várias formas em cima. Neste momento, um colaborador da fábrica fica responsável por guiar este carrinho para que as formas sejam preenchidas adequadamente. Então, dessa maneira os lingotes de liga de Zamac reciclada são formados. É possível ter uma melhor noção visualizando a Figura 12.

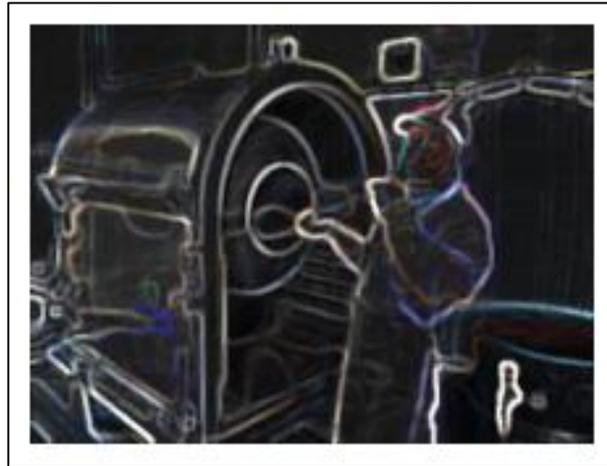
Figura 12: Retirada do material da máquina de reciclagem



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

Por fim, os resíduos provenientes do processo de recuperação da matéria-prima são retirados da máquina de reciclagem pelo colaborador, como é mostrado na Figura 13.

Figura 13: Retirada dos resíduos



Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

4.4 ENSAIOS

De acordo com a necessidade de cada empresa e com o interesse de cada uma, são realizados vários ensaios em um determinado material. No caso deste trabalho, foi interessante realizar um ensaio de tração, no qual é possível conhecer algumas propriedades mecânicas. Além deste ensaio, com o objetivo de conhecer a composição química do material, um corpo de prova foi submetido a um teste de composição.

4.4.1 Ensaio de Composição Química do Material

Um critério importante para que a matéria-prima seja aprovada e então utilizada no processo produtivo da empresa, é a composição química deste material. Os elementos químicos que compõem o material e a quantidade que cada um se faz presente é fundamental. Pois, se um elemento não estiver de acordo com as especificações determinadas para cada material, podem haver alterações na característica da respectiva matéria-prima. Logo, para se conhecer a composição

elementar de uma determinada amostra, é possível realizar um ensaio de análise química.

De acordo com dados fornecidos pela empresa, a matéria-prima 100% reciclada não atendeu às especificações técnicas de composição. Ou seja, este material estava fora dos padrões para ser utilizado no processo produtivo da empresa. Logo, segundo a empresa estudada, foi realizada uma mistura de matéria-prima virgem com matéria-prima reciclada para que assim as especificações fossem atendidas. Então, para este trabalho, foi realizado um ensaio de composição química com uma amostra do material misturado apenas, pois é somente este material que interessa. O ensaio foi realizado por um centro tecnológico de controle da qualidade que não terá seus dados divulgados. O equipamento utilizado para realização do ensaio foi o Espectrômetro de Emissão em Plasma – ICP da marca VARIAN e modelo VISTA-MPX. O resultado do teste é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Resultado do ensaio de composição química

PARÂMETROS	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO
Magnésio	%	0,0457	min 0,0250 e max 0,0500
Ferro	%	<0,0040	max 0,0750
Cobre	%	0,0074	max 0,1000
Chumbo	%	<0,0020	max 0,0040
Estanho	%	<0,0010	max 0,0020
Alumínio	%	3,9610	min 3,9000 e max 4,3000
Cádmio	%	<0,0010	max 0,0030

Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

O resultado do ensaio realizado com a amostra, evidencia que a matéria-prima misturada atende às especificações que foram consideradas no teste. Estas especificações são da norma americana SAE J468:88. Portanto, cada elemento químico que compõe o material desempenhará a sua devida influência na característica da matéria-prima de forma esperada. Isso garante que o material se comportará sem surpresas no seu respectivo uso.

4.4.2 Ensaio de Tração

Para que o material recuperado seja utilizado na produção dos produtos da empresa, ele precisa atender a alguns critérios. Por exemplo, as propriedades mecânicas é um desses critérios. Toda matéria-prima que a empresa utiliza precisa estar de acordo com certas especificações, para que a qualidade dos produtos fabricados pela empresa permaneça alta. Estas especificações podem ser encontradas em normas técnicas nacionais e internacionais, além de manuais técnicos elaborados por algumas empresas.

Para se conhecer algumas propriedades mecânicas de um determinado material, pode ser realizado um ensaio de tração. Tal ensaio consiste em submeter um corpo de prova, com geometria padronizada, a um esforço crescente na direção axial que tende a alongá-lo, levando-o a se romper.

Foram feitos alguns corpos de prova com a matéria-prima recuperada para serem submetidos a um teste de tração. Para realizar o ensaio, foi utilizada uma máquina universal de ensaios da marca EMIC e modelo DL 10000. O teste foi realizado no laboratório de uma outra empresa multinacional que não pode ter seus dados revelados. No total, foi realizado o ensaio de tração com cinco corpos de prova (CP) e os valores obtidos neste ensaio podem ser observado na Tabela 6.

Tabela 6: Resultado do ensaio de tração realizado com a matéria-prima reciclada

PROPRIEDADES	ZAMAC 3 RECICLADO					
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	MÉDIA
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	218,9 MPa	217,0 MPa	227,8 MPa	228,7 MPa	227,8 MPa	224 MPa
LIMITE DE ESCOAMENTO	55 MPa	45,9 MPa	44,9 MPa	43,1 MPa	40,5 MPa	45,9 MPa

Fonte: Próprio Autor (2021)

Somente algumas propriedades mecânicas foram mostradas na tabela acima, porém já é possível fazer uma comparação com a Tabela 3, que possui dados retirados de uma norma técnica. Realizando essa comparação, observa-se que o material reciclado não atende às especificações necessárias para que possa ser usado no processo produtivo da empresa. Logo, quando o material estiver em uso no cotidiano, ele não apresentará um bom desempenho.

Portanto, de acordo com informações disponibilizadas pela empresa, para contornar esse contratempo, a fábrica realizou estudos e concluiu que para utilizar a matéria-prima reciclada na produção de seus produtos, este material deverá ser misturado com a matéria-prima virgem. Ou seja, no processo de fundição, deverá ser utilizada uma mistura de matéria-prima virgem com matéria-prima reciclada. O percentual de cada material que irá compor essa mistura é 20% de matéria-prima reciclada e 80% de matéria-prima virgem. Dessa maneira, a empresa constatou que nessas condições a utilização do material reciclado é aprovada, e garante que a qualidade na produção dos produtos da fábrica permanece dentro dos padrões.

Então, um novo ensaio de tração foi realizado. Agora os corpos de prova foram feitos com a mistura do material reciclado e virgem. Também foram utilizados cinco corpos de prova e o resultado de cada CP foi muito semelhante aos demais. Então, foi usada a média dos resultados para construir a tabela abaixo. Como era esperado, os números do teste melhoraram. Além do resultado do ensaio de tração, são mostrados também na Tabela 7 a especificação da norma e o resultado do primeiro ensaio para efeito de comparação.

Tabela 7: Resultado do ensaio de tração com material misturado

PROPRIEDADES	ESPECIFICAÇÃO (ASTM B86-13)	ZAMAC 3 RECICLADO (20%) + ZAMAC 3 VIRGEM (80%)	ZAMAC 3 RECICLADO
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	283 MPa	283 MPa	224 MPa
LIMITE DE ESCOAMENTO	221 MPa	221 MPa	45,9 MPa

Fonte: Próprio Autor (2021)

Conforme mostra a tabela acima, agora as especificações técnicas, quanto às propriedades mecânicas, foram atendidas se forem comparadas com a norma técnica da ASTM.

4.5 ANÁLISE FINANCEIRA

Como foi mostrado anteriormente, dentre as três máquinas de reciclagem de matéria-prima que foram encontradas no mercado, foi escolhida a máquina com o

preço mais alto. Logo, o investimento inicial para reciclar a borra de Zamac que é gerada no processo de fundição se mostrou relativamente alto. Entretanto, o custo do investimento pode ser recuperado ao longo dos meses seguintes.

Analisando o *payback*, que significa “retorno” em português, dessa operação, o investimento na aquisição da máquina de reciclagem pode se apresentar mais atraente. Partindo do conceito de *payback*, que é justamente em quanto tempo um determinado investimento se pagará, é possível saber em quantos meses o valor da máquina será recuperado. Vale ressaltar que essa análise será feita de forma básica, pois alguns dados da empresa que permitiriam uma análise mais complexa não foram disponibilizados.

De acordo com os dados fornecidos pela empresa, ao longo dos 8 meses que foi feito o acompanhamento da geração de borra de Zamac, foi gerado um total de 14.526 Kg deste resíduo que seria descartado. Entretanto, essa quantidade de resíduo seria descartada com um retorno financeiro, pois uma empresa especializada compraria esse material. O valor de compra seria em média R\$6/Kg, ou seja, a empresa estudada obteria um valor de R\$ 87.156 com a venda desse resíduo.

Porém, deixando de vender e passando a reciclar essa borra de Zamac, o retorno financeiro passa a ser mais interessante. De acordo com dados da empresa, do total de borra de Zamac gerada nos oito meses, cerca de 11.185 Kg foram recuperados, correspondendo a 77% de matéria-prima reciclada. Logo, financeiramente, esse percentual de material recuperado representa aproximadamente R\$224.375,94 de retorno para a empresa.

Baseando-se na projeção para doze meses, o total de matéria-prima recuperada seria em torno de 16.777 Kg, o que corresponderia a um valor financeiro de aproximadamente R\$ 336.563,92 anual. Em contrapartida, o retorno financeiro com a venda do resíduo de Zamac seria apenas de R\$ 130.734,00 em média anualmente.

Então, o retorno financeiro com resíduo de Zamac passa de R\$ 87.156 para R\$ 224.375,94 nos oito meses. Mensalmente, o retorno financeiro passa de R\$ 10.894,50 para R\$ 28.046,99, ou seja, um aumento de R\$ 17.152,49. Logo, considerando esse ganho mensal ao reciclar a borra de Zamac, em

aproximadamente um ano é recuperado o valor pago para adquirir a máquina de reciclagem, que corresponde a R\$ 212.800.

Portanto, a empresa estudada passou a ter um retorno financeiro de R\$ 336.563,92 por ano (baseado na projeção para doze meses) com a borra de Zamac gerada no processo de fundição. Mensalmente, esse retorno equivale a R\$ 28.046,99.

Na tabela abaixo, é possível visualizar melhor essa questão financeira acerca da reciclagem da borra de Zamac na empresa estudada.

Tabela 8: Aspectos financeiros

Destino da borra de Zamac	Investimento inicial	Retorno financeiro mensal	Retorno financeiro anual	Ganho mensal	Ganho anual	<i>Pay back</i>
Venda	R\$ 0	R\$ 10.894,50	R\$ 130.734,00	R\$ 0	R\$ 0	-
Reciclagem	R\$ 212.800	R\$ 28.046,99	R\$ 336.563,92	R\$ 17.152,49	R\$ 205.829,88	Cerca de 1 ano.

Fonte: Próprio Autor (2021)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor industrial do Brasil é um dos principais ramos que fazem a economia do país girar. Com isso, apresenta-se cheio de desafios para as empresas que pertencem a ele. Um dos piores desafios são as crises econômicas. Neste momento, as indústrias precisam se reinventar e encontrar soluções para sobreviverem ao mau período. Entretanto, há também um lado positivo dos tempos ruins. Muitas vezes as empresas são forçadas a evoluírem, trazendo consigo novas tendências e tecnologias que acabam beneficiando a todos.

Dentro desse contexto, faz-se presente a empresa que foi estudada neste trabalho. Tendo como objetivo reduzir custos de produção, ela buscou soluções no mercado que a tornasse mais eficiente em suas atividades produtivas.

Este trabalho mostrou que quando uma empresa adota uma postura de estar sempre melhorando seus processos, há uma grande chance de se conseguir êxito na diminuição de desperdícios. Além disso, mostrou que é possível contribuir com o meio ambiente por meio do melhor aproveitamento dos materiais que são utilizados dentro da fábrica.

Dito isso, a presente pesquisa tratou justamente sobre a reciclagem de um material que antes era simplesmente descartado (vendido como resíduo para uma outra empresa). Este material é a liga de Zamac 3, que é muito utilizado na fabricação de produtos do setor automotivo e entre outros. Antes de a fábrica implantar o processo de recuperação desta matéria-prima, o volume de resíduo recolhido por uma outra empresa era bem maior.

No entanto, algumas especificações técnicas precisaram ser atendidas, para que de fato passasse a ser utilizado o material reciclado nos processos produtivos da empresa. Um dos aspectos técnicos são as propriedades mecânicas que o material apresenta. Foi identificado que as propriedades mecânicas da liga de Zamac 100% reciclada não atendiam às especificações necessárias para que o material pudesse ter um bom desempenho. Essas especificações são padronizadas por normas internacionais ou nacionais, além de serem encontradas também em manuais técnicos elaborados por determinadas empresas.

Todavia, a empresa identificou, por meio de estudos, que o material reciclado atenderia às normas se fosse misturado com matéria-prima virgem.

Portanto, assim se fez. Logo, a matéria-prima ideal para o uso em processos produtivos passou a ser composta por 20% de material reciclado e 80% de material virgem. Então, outro parâmetro que foi atendido conforme normas específicas foi a composição química do material. Com o material reciclado sendo misturado com matéria-prima virgem, a composição química especificada pela norma americana SAE J468:88 foi atendida sem problemas.

Quanto às questões financeiras, o investimento inicial se mostrou relativamente elevado. Entretanto, a relação de “custo x benefício” fez valer o aporte financeiro. Além disso, o *payback* dessa operação financeira se mostrou muito bom, chegando a ser aproximadamente um ano. Por fim, a empresa passou a ter um retorno financeiro mensal de aproximadamente 28 mil reais ao reciclar a borra de Zamac.

Após todo o estudo realizado nesse trabalho e considerando o objetivo geral do mesmo, chega-se à conclusão que é viável tanto tecnicamente quanto financeiramente a utilização da liga de Zamac reciclada na empresa estudada.

Por fim, como sugestão de trabalhos futuros, pode-se abordar temas como: a reciclagem de outras ligas dentro de fábricas como forma de reduzir custos; e máquinas mais eficientes para a reciclagem de materiais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTAMETAIS. **Empresa**. Disponível em: <https://www.altametais.com.br/empresa>. Acesso em: 25 out 2020.

ANUÁRIO DA RECICLAGEM 2017-2018. **Importância da recuperação de resíduos sólidos**. Disponível em: <https://ancat.org.br/wp-content/uploads/2019/09/Anua%CC%81rio-da-Reciclagem.pdf>. Acesso em: 20 out 2020

APPOLINÁRIO, Fábio. **Dicionário de metodologia científica: Um Guia para a Produção do Conhecimento Científico**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

BALDAM, Roquemar de Lima; VIEIRA, Estéfano Aparecido. **Fundição: Processos e Tecnologias Correlatas**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico do setor metalúrgico**. Brasília, 2019. 77p.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

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

INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS. **O zinco e o meio ambiente**. Disponível em: <http://www.icz.org.br/zinco-meio-ambiente.php> . Acesso em: 20 nov 2020.

JESUS, Carlos Antônio Gonçalves de. **Zinco**. Balanço Mineral Brasileiro 2001, DNPM. Disponível: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnmp/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>.

MAGALHÃES FILHO, W. **Seminário de zinco e suas aplicações:** tratamento de concentrados sulfetados de zinco. São Paulo: Associação brasileira de metais, 2000.

NEXARESOURCES. **Zamac.** Disponível em: <https://www.nexaresources.com/pt/smelting#7/Zamac>. Acesso: 01 dez 2020.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização. Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

SANTOS, Juarez Fontana dos. **Desenvolvimento de estudos para elaboração do Plano Duodecenal (2010-2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral:** Perfil do Minério de Zinco. Brasil: 2010.

SANTOS, Juarez Fontana dos. **Desenvolvimento de estudos para elaboração do Plano Duodecenal (2010-2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral:** Perfil do Zinco. Brasil: 2009.

SARAC, Patrícia Bordon. As ligas de zinco-alumínio – Propriedades e aplicações. **Fundição e Matérias-Primas.** São Paulo, nº 203, p. 38-40, outubro, 2018.

SÃO PAULO (Estado). Biblioteca Virtual. **Reciclagem:** metal. Disponível: <<http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/temas/meio-ambiente/reciclagem-metal.php>>. Acesso em: 20 out 2020.

SOARES, Osvaldo Junior Alves. **Melhorias de Produto/Processo pela Utilização de Ligas de ZAMAC.** 2008. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2008.

VASQUES, Antônio Cruz. **Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral:** Reciclagem de Metais no País. Brasil: 2009.

VOTORANTIM METAIS. **Manual de Fundição sob Pressão.** Disponível em: <https://issuu.com/prodweb/docs/manual-de-fundicao-sob-pressao>. Acesso em: 05 dez 2020.

YIN, Robert K. **Estudo de caso:** Planejamento e Métodos. Trad. de Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXOS

Termo de Compromisso

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CONSELHO SUPERIOR

ANEXO 2

TERMO DE COMPROMISSO DO ORIENTADO SOBRE AS NORMAS/REGULAMENTOS
DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Gleison Coelho Borges, estudante regularmente matriculado no Curso Superior de Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Amazonas, Campus Manaus Centro estou ciente e concordo com as normas/regulamentos instituídos para o desenvolvimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso. Outrossim, declaro seguir tal regimento. Por estar plenamente de acordo firmo o presente.

Cidade, AM, 31 de março de 2021

Gleison Coelho Borges

Assinatura do estudante