

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
*MODALIDADE PROFISSIONAL*

ASPECTOS AMBIENTAIS, LEGAIS E TECNOLÓGICOS SOBRE O DESCARTE DA AREIA DE  
FUNDIÇÃO: UM ESTUDO NO NOROESTE FLUMINENSE

LUCAS XAVIER PEREIRA DA SILVA

MACAÉ-RJ

2021

LUCAS XAVIER PEREIRA DA SILVA

ASPECTOS AMBIENTAIS, LEGAIS E TECNOLÓGICOS SOBRE O DESCARTE DA AREIA DE  
FUNDIÇÃO: UM ESTUDO NO NOROESTE FLUMINENSE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador(a): D.Sc Angélica da Cunha dos Santos

MACAÉ-RJ

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586a Silva, Lucas Xavier Pereira da, 1995-.  
Aspectos ambientais, legais e tecnológicos sobre o descarte da areia de fundição – um estudo no Noroeste Fluminense. / Lucas Xavier Pereira da Silva. — Macaé, RJ, 2021.  
xiv, 62 f.: il. color.

Orientadora: Angélica Cunha dos Santos, 1979-.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2021.  
Inclui referências.  
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.  
Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

1. Resíduos sólidos - Eliminação de resíduos – Rio de Janeiro (Estado). 2. Resíduos perigosos - Eliminação. 3. Tratamento e aproveitamento de rejeitos. 4. Gestão integrada de resíduos sólidos – Rio de Janeiro (Estado). 5. Avaliação de riscos ambientais. 6. Areia de fundição - Eliminação – Legislação. 7. Brasil (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010). I. Santos, Angélica Cunha dos, 1979-, orient. II. Título.

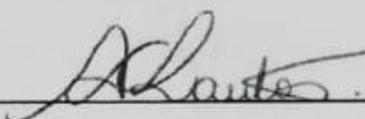
CDD 628.4450981

(23. ed.)

Dissertação intitulada **ASPECTOS AMBIENTAIS, LEGAIS E TECNOLÓGICOS SOBRE O DESCARTE DA AREIA DE FUNDIÇÃO: UM ESTUDO NO NOROESTE FLUMINENSE**, elaborada por **Lucas Xavier Pereira da Silva** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 14/05/2021

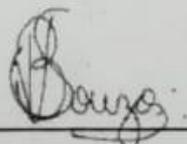
Banca Examinadora:



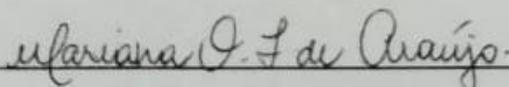
Angélica da Cunha dos Santos, Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)  
– Orientadora



Cristiane de Jesus Aguiar, Doutora em Engenharia e Ciências dos Materiais / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Universidade Estácio de Sá (UNESA)



Victor Barbosa de Souza, Doutor em Engenharia Mecânica / Universidade Federal Fluminense (UFF)



Mariana Vasconcelos Ferreira de Araújo, Mestre em Engenharia Ambiental / Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho aos meus familiares, de maneira especial os meus pais, que nunca mediram esforços para que eu tivesse a melhor educação e conhecimento do valor do estudo, me dando forças para seguir em frente. Por serem os meus melhores exemplos, meus heróis.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, que sempre me deu forças para superar as dificuldades e chegar até esse momento, sempre me guiando e mostrando o caminho a seguir.

Aos meus pais, por todo amor, apoio e pelos valorosos exemplos que me passaram durante toda a vida.

Aos familiares, por toda confiança e suporte para continuar caminhando.

Aos amigos do PPEA, pelo companheirismo e disposição para ajudar sempre.

A todos os professores que durante esses meses passaram todo o conhecimento possível e que seguirão comigo.

Agradeço à minha orientadora, Professora Angélica da Cunha dos Santos, pela amizade, compreensão, pelos valorosos direcionamentos e pelo apoio sempre presente.

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível.”

(São Francisco de Assis)

**LISTA DE FIGURAS****ARTIGO CIENTÍFICO 1**

Figura 1 – Caracterização e classificação de resíduos.....	08
Figura 2 – Produção nacional de fundidos (toneladas de peças x mês) .....	14
Figura 3 – Modelo confeccionado em madeira.....	15
Figura 4 – Molde em Areia Verde.....	16
Figura 5 – Fluxograma do processo de fundição em areia .....	17

**LISTA DE TABELAS****ARTIGO CIENTÍFICO 2**

Tabela 1 – Composição Típica e Propriedades da Areia Verde.....	34
Tabela 2 – Composição do lixiviado, solubilizado e da massa bruta da areia de fundição.....	36
Tabela 3 – Planos Municipais e Locais de Destinação dos Resíduos Sólidos.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABETRE - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes
- ABIFA - Associação Brasileira de Fundidos
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CONSEMA - Conselho Estadual de Meio Ambiente
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
- CTR - Centro de Tratamento de Resíduos
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto
- PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico
- PMA - Prefeitura Municipal de Aperibé
- PMCG - Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes
- PMGIRS - Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
- PMI - Prefeitura Municipal de Itaocara
- PMSAP - Prefeitura Municipal de Santo Antônio de Pádua
- PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico
- PNRS - Política Nacional dos Resíduos Sólidos
- RCC - Resíduo de Construção Civil
- RRC - *Resource Recovery Corporation*
- US EPA - *United States Environmental Protection Agency*

## ASPECTOS AMBIENTAIS, LEGAIS E TECNOLÓGICOS SOBRE O DESCARTE DA AREIA DE FUNDIÇÃO: UM ESTUDO NO NOROESTE FLUMINENSE

### RESUMO

A problemática ambiental e a sustentabilidade vem sendo temas debatidos com grande frequência em eventos à nível nacional e internacional e cada vez mais o número de pessoas com essa sensibilidade ambiental tem aumentado. Com a redução e/ou transformação dos resíduos, que são gerados frequentemente pela indústria, em matéria-prima, é possível minorar a utilização de recursos naturais, bem como, conter o despejo desses resíduos no ambiente. A fundição em moldes de areia é um dos processos de fabricação mais utilizados mundialmente, por ser relativamente simples e de baixo custo. Em contrapartida, é uma atividade altamente poluidora por gerar grande quantidade de resíduo sólido. A problemática se dá pelo alto volume despejado nos aterros e devido ao fato de que algumas vezes o resíduo da areia de fundição seja classificado como de classe I (perigoso), podendo apresentar metais pesados contaminantes e fenóis em concentrações superiores ao estabelecido. No primeiro momento, através de uma pesquisa bibliográfica, buscou-se entender a geração desse resíduo no processo de fundição, bem como analisar os aspectos ambientais da sua valorização como matéria-prima alternativa na composição do concreto usado na construção civil. Posteriormente, o trabalho teve como objetivo diagnosticar o descarte das areias de fundição em indústrias de 5 municípios do Estado do Rio de Janeiro, avaliando aspectos ambientais, legais e tecnológicos, comparando referências mundiais sobre o gerenciamento do resíduo em relação ao descarte e reaproveitamento. Em termos metodológicos, a investigação descritiva e exploratória foi conduzida por meio de pesquisa bibliográfica e documental na base de dados Google Acadêmico e Periódicos Capes com utilização de operadores booleanos. Além dos artigos, também foram considerados os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e os Planos Municipais de Saneamento Básico. Com base nos resultados, a maioria das empresas pesquisadas nos municípios não incorpora as inovações tecnológicas, não há informações disponíveis sobre o tratamento do resíduo de areia de fundição, nem acerca do local exato que essas empresas realizam o descarte. A pesquisa se mostra relevante por apresentar um diagnóstico ambiental atual dos municípios em questão, com base na PNRS 12.305/10 e no Plano Municipal de Resíduos em relação ao descarte das areias de fundição, bem como por descrever a utilização de tecnologias de reaproveitamento, contribuindo para uma gestão integrada de resíduos sólidos regional, economia de recursos naturais e desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Areia da Fundição. Descarte. Sustentabilidade.

**ENVIRONMENTAL, LEGAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS ON DISPOSAL OF  
CASTING SAND: A STUDY IN NORTHWEST FLUMINESE**

**ABSTRACT**

*The environmental issue and sustainability have been debated with great frequency in events at national and international level and more and more the number of people with this environmental sensitivity has increased. With the reduction and / or transformation of waste, which is often generated by industry, into raw material, it is possible to reduce the use of natural resources, as well as contain the dumping of these residues in the environment. Sand mold casting is one of the most widely used manufacturing processes worldwide, as it is relatively simple and inexpensive. On the other hand, it is a highly polluting activity because it generates a large amount of solid waste. The problem is due to the high volume dumped in landfills and due to the fact that sometimes the waste from the foundry sand is classified as class I (dangerous), and may contain heavy contaminating metals and phenols in concentrations higher than established. At first, through a bibliographic review, we sought to understand the generation of this waste in the smelting process, as well as to analyze the environmental aspects of its valorization as an alternative raw material in the composition of the concrete used in civil construction. Subsequently, the work aimed to diagnose the disposal of foundry sands in industries in 5 municipalities in the State of Rio de Janeiro, evaluating environmental, legal and technological aspects, comparing world references on waste management in relation to disposal and reuse. In methodological terms, the descriptive and exploratory investigation was conducted through bibliographic and documentary research in the Google Scholar and Periodicals Capes database using Boolean operators. In addition to the articles, the Municipal Plans for Integrated Solid Waste Management (PMGIRS) and the Municipal Basic Sanitation Plans were also considered. Based on the results, most of the companies surveyed in the municipalities do not incorporate technological innovations, there is no information available about the treatment of foundry sand waste, nor about the exact location that these companies carry out the disposal. The research is relevant for presenting a current environmental diagnosis of the municipalities in question, based on PNRS 12.305 / 10 and the Municipal Waste Plan in relation to the disposal of foundry sands, as well as for describing the use of reuse technologies, contributing for integrated regional solid waste management, saving natural resources and sustainable development.*

**Keywords:** Foundry Sand. Discard. Sustainability.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	ix
RESUMO.....	x
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	01
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 1: RESÍDUO DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO EM MOLDES DE AREIA: SUA FORMAÇÃO E POSSÍVEL REAPROVEITAMENTO EM CONCRETO.....</b>	03
1. INTRODUÇÃO.....	05
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	07
2.1 Resíduos Sólidos.....	07
2.1.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).....	09
2.1.2 Resíduos Sólidos Industriais.....	10
2.1.3 Resíduos Sólidos e a Questão Ambiental.....	11
2.2 Fundição.....	13
2.2.1 O Processo de Fundição.....	14
2.2.2 Areia de Fundição.....	16
2.2.3 Descarte e Reutilização da Areia Fundição.....	18
2.2.4 Normas e Regulamentações Brasileiras sobre Areia de Fundição.....	19
2.3 Concreto.....	20
2.3.1 Componentes do Concreto.....	21
2.3.1.1 Cimento Portland.....	21
2.3.1.2 Agregados.....	22
2.3.1.3 Água.....	22
2.3.2 Incorporação do Resíduo no Concreto.....	22
3. METODOLOGIA.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÃO.....	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 2: ASPECTOS AMBIENTAIS, LEGAIS E TECNOLÓGICOS SOBRE O DESCARTE DA AREIA DE FUNDIÇÃO: UM ESTUDO DE VIABILIDADE PARA O NOROESTE FLUMINENSE.....</b>	30

1. INTRODUÇÃO.....	32
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	33
2.1 A Areia de Fundição Como Resíduo e Sua Classificação.....	33
2.2 Aspectos Ambientais e Legais sobre as Areias de Fundição.....	37
2.3 Descarte Da Areia e Problemas Ambientais Gerados.....	40
2.4 Aspectos tecnológicos no descarte nas Areias de Fundição.....	42
2.4.1 Estudos Realizados com Areia de Fundição.....	43
2.5 Cenário da Reutilização da Areia de Fundição no Mundo.....	46
2.5.1 Estados Unidos.....	46
2.5.2 Europa.....	48
3. METODOLOGIA.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 Procedimentos Adotados em Fundições Locais.....	50
4.2 Análise das Legislações.....	51
4.3 Gestão dos Resíduos Sólidos nos Municípios Abordados.....	51
5. CONCLUSÃO.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

## APRESENTAÇÃO

Um dos grandes desafios para a sociedade no cenário ambiental brasileiro é a necessidade de implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. A Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto Federal nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, estabelece preceitos e ferramentas que visam a gestão integrada dos resíduos sólidos. Esta Lei completou 10 anos, porém, muitas ações previstas não foram colocadas em prática e quase a metade do lixo gerado nas cidades brasileiras ainda vai para aterros inadequados (BRASIL, 2010).

O setor de fundição representa uma parte significativa na geração de resíduos sólidos industriais, por meio das areias utilizadas na moldagem das peças que são descartadas após algumas etapas do processo. Atualmente, a produção nacional de peças fundidas atingiu um total de mais de 2 milhões de toneladas produzidas no ano de 2019, o que deixa claro que esse setor tem grande representatividade na economia brasileira (ABIFA, 2019).

A disposição inadequada desse resíduo pode gerar impactos ambientais, principalmente, em solo e águas superficiais e subterrâneas, devido à possibilidade de não ser totalmente inerte, podendo apresentar fragmentos e conter concentrações de fenóis maiores que o estabelecido (PENKAITIS, 2012; MARIOTTO, 2001). Para Rocha e Cheriaf (2003), o setor da construção civil mostra-se com uma enorme capacidade de ser uma das soluções para essa problemática pela capacidade que apresenta de se utilizar resíduos nos materiais de construção, o que faz com que haja um menor custo nos produtos da construção civil.

Esta Dissertação é composta de dois artigos de comunicação científica, conforme normatização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do IFFluminense para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Por meio da pesquisa realizada no primeiro artigo, buscou-se encontrar uma possível finalidade de reutilização do resíduo do processo de fundição em moldes de areia, o qual é um grande gerador de resíduos sólidos, por meio da incorporação deste na confecção do concreto, substituindo em diferentes porcentagens a areia normalmente utilizada na produção desse material construtivo, o que acarretaria em uma redução do descarte no meio ambiente, que em grande parte se dá de maneira inapropriada. Com isso também se conseguiria reduzir o volume de areia na composição do concreto, levando a uma menor extração deste recurso. O primeiro estudo consiste em uma revisão de literatura para um aprofundamento teórico acerca do tema de pesquisa.

Devido aos contratemplos ocorridos no ano de 2020 ocasionados pela pandemia, não foi possível realizar, no segundo artigo, o que era previsto durante a elaboração do primeiro artigo da dissertação, que seria confeccionar corpos de prova cilíndricos de concreto com substituição da areia

comum pelo resíduo de fundição em areia em diferentes porcentagens. Com as recomendações da Organização Mundial da Saúde de distanciamento social, os laboratórios das instituições, que seriam utilizados para os ensaios, foram fechados, o que impossibilitou a realização do que havia sido planejado.

Portanto, foi elaborado um trabalho de pesquisa em que se procurou avaliar os aspectos ambientais, legais e tecnológicos sobre o descarte das areias de fundição nas indústrias da região noroeste fluminense, onde foi feito contato com sete empresas de cinco diferentes municípios. Também foi pesquisado a respeito dos planos municipais relacionados aos resíduos sólidos, como são direcionados os procedimentos de cada município em relação a essa problemática e o local de destinação destas cidades. A classificação do resíduo de fundição em areia é um ponto importante que foi abordado, para que sejam conhecidos em quais setores o resíduo pode ser reaproveitado. Também estão sendo apontados neste trabalho os novos métodos de reaproveitamento deste resíduo que vêm sendo pesquisados no Brasil, bem como os que vêm sendo normatizados e aplicados por diversos outros países. Foram considerados, para utilização como base de dados, 26 artigos para elaboração da pesquisa.

## ARTIGO CIENTÍFICO 1

### INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO EM AREIA NA CONFECCÃO DE CONCRETO

#### *INCORPORATION OF WASTE FROM THE SAND CASTING PROCESS INTO THE CONCRETE MAKING PROCESS*

Lucas Xavier Pereira da Silva - IFFluminense/PPEA

#### RESUMO

A problemática ambiental e a sustentabilidade vem sendo temas debatidos com grande frequência em eventos a nível nacional e internacional e cada vez mais o número de pessoas com essa sensibilidade ambiental tem aumentado. Com a redução e/ou transformação dos resíduos, que são gerados frequentemente pela indústria, em matéria-prima, é possível minorar a utilização de recursos naturais, bem como, conter o despejo desses resíduos no ambiente. A fundição em moldes de areia é um dos processos de fabricação mais utilizados mundialmente, por ser relativamente simples e de baixo custo. Em contrapartida, é uma atividade altamente poluidora por gerar grande quantidade de resíduo sólido. Para cada tonelada de produtos fabricados, são gerados cerca de 600 kg de resíduo de areia de fundição, em que na sua maioria é descartada em aterros sanitários. A problemática desta destinação se dá pelo grande volume despejado, e devido ao fato de que algumas vezes o resíduo da areia de fundição seja classificado como de classe I (perigoso), podendo apresentar metais pesados contaminantes (mercúrio e chumbo), além de fenóis em concentrações superiores ao estabelecido. A utilização do resíduo da fundição em areia no concreto pode ser de interesse até mesmo do setor de construção civil, pois acarretaria em uma menor utilização de areia na confecção do concreto, levando a uma redução de custos e de extração de areia do ambiente. Em termos metodológicos, será adotada uma pesquisa exploratória e descritiva para maior aprofundamento dos temas. O estudo descritivo desse trabalho de pesquisa baseia-se, inicialmente, na revisão de literatura. Posteriormente, o estudo buscará avaliar a viabilidade de incorporar variadas porcentagens do resíduo de fundição em areia na confecção do concreto, por meio de ensaios normalizados. Para tal, serão fabricados corpos de prova cilíndricos de concreto com as porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20% de resíduo em substituição ao agregado miúdo. Posteriormente serão avaliadas as propriedades mecânicas dos corpos de prova confeccionados. Os resultados obtidos serão comparados com a norma vigente sobre concreto.

**Palavras chave:** Concreto. Resíduo de Fundição. Incorporação.

## **ABSTRACT**

*The environmental issue and sustainability have been debated with great frequency in events at national and international level and more and more the number of people with this environmental sensitivity has increased. With the reduction and / or transformation of waste, which is often generated by industry, in raw material, it is possible to reduce the use of natural resources, as well as contain the dumping of these residues in the environment. Sand mold casting is one of the most widely used manufacturing processes worldwide, as it is relatively simple and inexpensive. On the other hand, it is a highly polluting activity because it generates a large amount of solid waste. For each ton of products manufactured, about 600 kg of foundry sand waste is generated, most of which is disposed of in landfills. The problem with this destination is due to the large volume dumped, and due to the fact that sometimes the waste from the foundry sand is classified as class I (dangerous), and may contain contaminating heavy metals (mercury and lead), in addition to phenols in concentrations higher than established. The use of sand foundry residue in concrete can be of interest even in the civil construction sector, as it would result in less use of sand in making concrete, leading to reduced costs and sand extraction from the environment. . In methodological terms, exploratory and descriptive research will be adopted to further deepen the themes. The descriptive study of this research work is based, initially, on the literature review. Subsequently, the study will seek to assess the feasibility of incorporating varying percentages of the sand foundry residue in the making of concrete, through standardized tests. To this end, cylindrical concrete specimens will be manufactured with the percentages of 0, 5, 10, 15 and 20% of waste to replace the fine aggregate. Subsequently, the mechanical properties of the manufactured specimens will be evaluated. The results obtained will be compared with the current standard on concrete.*

**Keywords:** Concrete. Foundry Waste. Incorporation.

## 1. INTRODUÇÃO

A acumulação de resíduos, provenientes de consumismo humano, bem como seu descarte inapropriado, resultam em uma problemática ambiental que ainda não tem uma solução definitiva, ainda que existem vários direcionamentos com intuito de reduzir o impacto gerado. Dois dos fatores que contribuíram para esse quadro, foram o crescimento populacional e maior demanda por produtos de origem industrial. Outro ponto de grande relevância neste cenário é o discurso de que para se alcançar um desenvolvimento econômico, os problemas oriundos da geração de resíduos seriam uma consequência inevitável, com poucas regulações e fiscalizações. Desse modo, o descaso com o ambiente resultou na degradação dos solos, das águas e ar, conseqüentemente tem acarretado em prejuízos à saúde e ainda provocado danos sociais, o que pode virar uma circunstância irreversível, o que comprometeria o próprio desenvolvimento econômico (MOTTA, 2008). É sabido que a natureza estabelece limitações, tanto em relação a porção de recursos naturais que podem ser utilizados, quanto ao volume de resíduos retornados ao meio ambiente. Motta (2008) ainda diz que graças a esses resultados negativos na natureza, as nações se viram obrigadas a legislar e fiscalizar mais rigorosamente todos os que estão compreendidos neste problema, tais como: consumidores, indústrias, poderes públicos, dentre outros.

O Brasil, nessas circunstâncias, estabeleceu em 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sob a Lei Nº 12.305/2010, que apresenta um viés bem atualizado e aponta meios relevantes que viabilizam a gestão integrada e o controle de resíduos sólidos. Depois de anos de debates, a PNRS foi aceita e significou o ponto de partida de uma grande articulação institucional abrangendo a Federação como um todo (União, Estados e Municípios), o setor de produção e a comunidade, na procura de resolver as questões ambientais, sociais e econômicas derivadas do manuseio inapropriado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2012).

Entre as diretrizes da lei citada é a preservação da saúde pública e qualidade ambiental, reduzir a geração de resíduos, buscando métodos de produção e consumo que sejam mais sustentáveis, como também disponibilizar dispositivos que viabilizem uma maior reciclagem e reutilização destes resíduos sólidos, dando a eles valores econômicos e sociais, que acarretam em trabalho e renda, e por fim um descarte ambientalmente correto a estes resíduos (BRASIL, 2010).

Uma das principais características da PNRS é o estabelecimento da culpabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, sendo eles: os que fabricam, os que importam, os que distribuem, os que comercializam, os cidadãos e os responsáveis pela limpeza urbana pública e de

manuseio dos resíduos sólidos; compreende também a logística reversa, a qual tem associação com os fabricantes.

Peças fundidas são produtos considerados básicos à maioria das cadeias produtivas. Devido a este fato a fundição tem o papel de grande importância no crescimento industrial das nações (SIEGEL, 1978), sendo adotada como um dos fatores indicativos de crescimento econômico. De acordo com o senso da Associação Brasileira de Fundidos (ABIFA), o Brasil já ocupou o posto de sétimo maior produtor mundial no setor de fundição, mas junto com a crise econômica, a produção sofreu uma queda, porém, os números mostram resultados bem relevantes, chegando à marca de 206.483 toneladas produzidas em maio de 2019 (ABIFA, 2019).

A fundição é considerada uma atividade altamente poluidora, devido do grande volume de resíduos sólidos produzidos, sendo a areia descartada de fundição um dos principais deles. Diante disso, reutilizar esse rejeito pode vir a ser uma possibilidade tanto ambiental quanto economicamente importante. A reutilização dessa areia leva a uma diminuição do descarte da mesma em aterros industriais e dos impactos referentes (PENKAITIS, 2012).

Para os órgãos de controle ambiental, o descarte da areia de fundição em centrais de resíduos se apresenta como a opção que poderia ser utilizada, porém essa atividade tende a ficar cada vez mais cara (US\$ 20-50/t), alterando o valor da produção. Além disto, esta não é uma alternativa ideal, pois um aterro, mesmo sendo controlado, consiste em um passivo em que as consequências futuras são imprevisíveis. Em resumo, o descarte do resíduo de fundição em aterros não pode ser considerada uma saída final, porém como um adiamento da solução (ABIFA, 1999 apud BIOLO 2005).

Muitos estudos técnicos e científicos legitimam a reutilização de areias de fundição (PROENÇA, 2001; TIKASKY et al. 2000; BONET, 2002; COUTINHO NETO E FABBRI, 2004; CARNIN, 2008). A incerteza que ainda se tem para maior reutilização deste ainda é a respeito dos prováveis perigos relativos ao acúmulo de metais. Certamente, a quantidade de metais presente no resíduo, para que não haja nenhum risco, não somente em relação ao ambiente, mas também a saúde humana. É importante que o estado trabalhe em conjunto, com o objetivo de estabelecer limites máximos da concentração de metais, regulamentando a reutilização (PENKAITIS, 2012).

Há algum tempo já são estudadas maneiras de se reutilizar o rejeito de areia de fundição no Brasil, sendo que a maior parte das pesquisas são voltadas para o setor da construção civil. Em alguns outros países, essa atividade está estabelecida em leis e normas dos órgãos ambientais, para ser utilizado além da construção civil, mas também em pavimentações, bem como composto na agricultura (PENKAITIS, 2012).

A construção civil se destaca como uma possível solução para estas questões, devido a possibilidade de utilização de resíduos como materiais de construção, levando a uma diminuição dos

valores finais dos artefatos da construção. Com isso, o avanço da tecnologia em relação a processos relacionados com reutilização de resíduos industriais passa a ter grande relevância (BIOLO, 2005).

Dentro da indústria de construção civil, o material mais comumente utilizado é o concreto, principalmente em situações onde qualidade e resistência são indispensáveis. Pensando nesse contexto de larga utilização do concreto, foi escolhido esse material construtivo para que seja verificada a possibilidade de se reutilizar o resíduo de fundição na composição do mesmo.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Resíduos Sólidos

Pode-se definir resíduo sólido, de forma geral, como sendo um material proveniente de uma prática costumeira da sociedade humana, sendo considerada pelo produtor, como dispensável, irrelevante ou descartável (NETO, 2006). De acordo com o que diz a norma NBR 10004/2004, os resíduos sólidos são resíduos nas condições sólidas e semi-sólidas decorrentes de práticas de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Outro ponto que a norma expõe são os aspectos observados para se classificar os resíduos sólidos, como por exemplo: o procedimento/prática que lhe originou, os seus constituintes e propriedades, e relacionar os seus componentes com as listas de resíduos das quais as consequências sobre o meio ambiente já são conhecidas.

Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos - perigosos e não perigosos, sendo ainda este último grupo subdividido em não inerte e inerte.

- *Resíduos classe I – Perigosos*: aqueles que apresentam risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, e ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, ou que apresentem uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

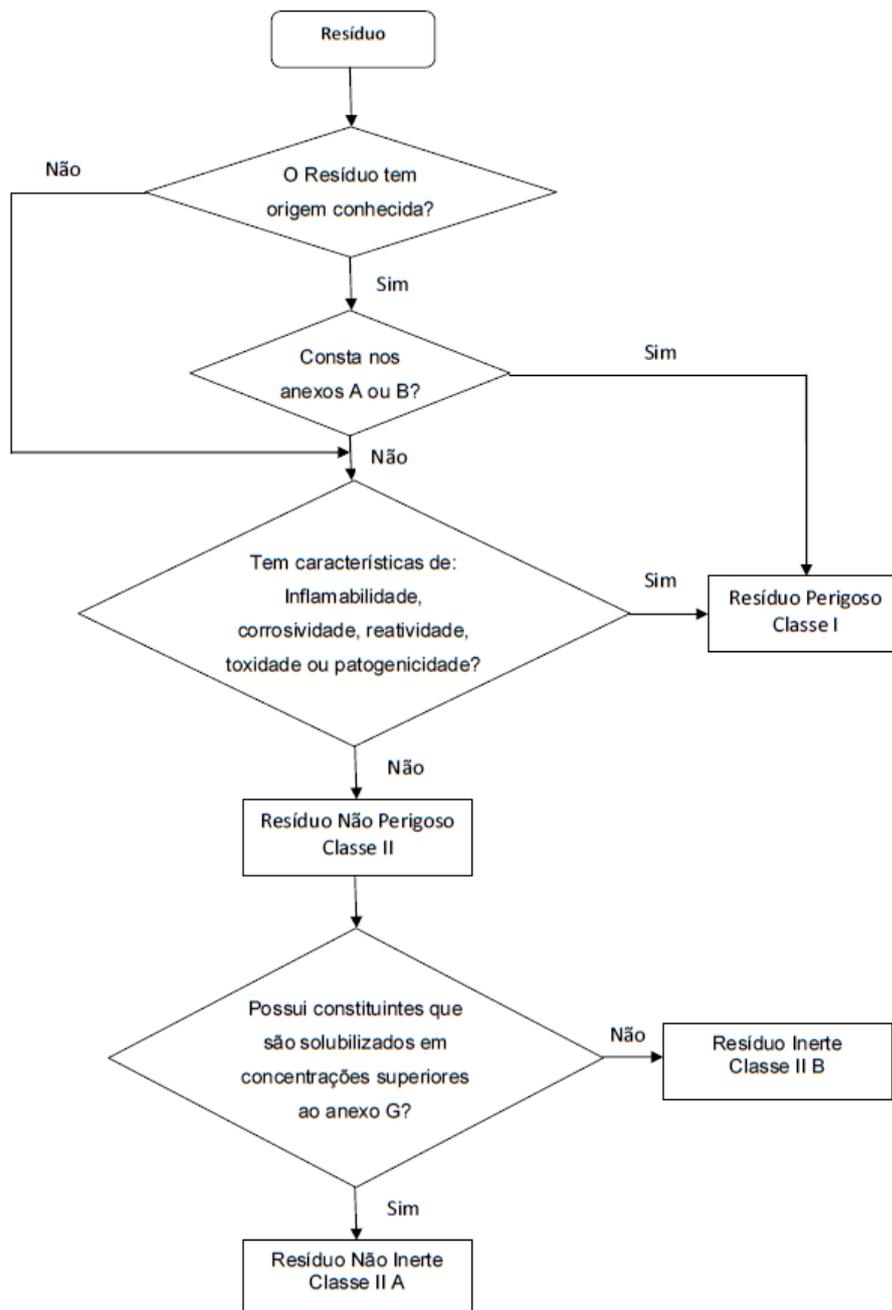
- *Resíduos classe II – Não perigosos* - podem ainda ser subdivididos em:

- *Resíduos classe II A – Não inertes*: aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - perigosos ou de resíduos classe II B – inertes. Eles podem apresentar propriedades tais como: solubilidade em água, combustibilidade ou biodegradabilidade.

- *Resíduos classe II B – Inertes*: São aqueles que ao serem submetidos a testes de solubilização, conforme a norma técnica NBR 10007/2004, não apresentam constituintes solubilizados em

concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

**Figura 1:** Caracterização e classificação de resíduos, conforme NBR 10004/2004



Fonte: Adaptado de ABNT (2008)

Os resíduos perigosos são assim denominados devido às seguintes propriedades: ser inflamável, corrosivo, reativo, tóxico, patogênico, cancerígeno, teratogênico e mutagênico, portanto se apresentam como ameaça à saúde da sociedade e/ou meio ambiente. Em contrapartida, se enquadram entre os não perigosos aqueles que não possuem nenhuma das características do grupo de resíduos perigosos.

Realizar a classificação dos resíduos de maneira correta é de fundamental importância, pois com essa informação é possível tomar uma melhor decisão sobre o que será feito com o resíduo, como por exemplo: para onde destinar e de que maneira isso tem de ser feito e quais as possíveis maneiras de se reciclar e reutilizar esse material.

### **2.1.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS denota, entre outras definições, a que diz respeito aos resíduos sólidos, sendo bastante semelhante à apresentada pela NBR 10004/2004. A PNRS (BRASIL, 2010) diz que o resíduo sólido é definido como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado que resulta de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

O texto da PNRS classifica, de acordo com a procedência e periculosidade, os resíduos. Em relação à procedência, eles têm os seguintes tipos:

- Resíduos sólidos urbanos – subdivididos em resíduos domiciliares, os quais são gerados em atividades nas residências urbanas, limpeza pública, durante a varrição e limpeza de ruas e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- Resíduos oriundos de comércio e prestador de serviço;
- Resíduos do saneamento básico público;
- Resíduos das indústrias: são gerados nas etapas produtivas e instalações industriais;
- Resíduos de serviços de saúde;
- Resíduos da construção civil: provenientes das construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, como também os oriundos do preparo e da escavação de lotes para obras;
- Resíduos agrossilvopastoris: resultante das atividades agropecuárias e silviculturais, bem como os associados a insumos utilizados nessas atividades;
- Resíduos de serviços de transportes: são originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- Resíduos de mineração: estes são concebidos nas operações de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Os resíduos sólidos provenientes do setor industrial representam grande parte do total de resíduos sólidos gerado mundialmente, devido a alguns fatores, tais como o crescimento populacional e a cultura do consumismo exacerbado, que já está enraizada na sociedade. Devido a isso será abordado um pouco mais sobre essa categoria de resíduo.

### **2.1.2 Resíduos Sólidos Industriais**

A respeito a essa categoria de resíduos sólidos, a PNRS (BRASIL, 2010a) estipula responsabilidades para os produtores. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), mais do que as vantagens para o ambiente, a correta destinação destes resíduos industriais tem relação direta com uma expansão apropriada da parte econômica e social do país. Pela visão econômica, a PNRS determina que grandes produtores escolham entre reduzir, reutilizar e reciclar os resíduos, entendendo seu devido valor monetário e estimulando a relação dos fabricantes com as cooperativas de catadores de recicláveis (IPEA, 2012).

Por meio da PNRS, se observou que sua execução não será capaz de privar-se de inovação e disputas industriais nas esferas de produções mais sustentáveis, logística reversa e restauração da energia dos resíduos como saídas tecnológicas, apesar das grandes dificuldades no recolhimento de informações que viabilizem a execução de uma análise geral a respeito dos resíduos sólidos industriais gerados no Brasil. O plano de progresso de produção-tecnologia nestes campos necessitará de uma harmonização dos planos nacionais, estaduais e municipais de acordo com o Decreto 7.404/2010 (BRASIL, 2010b).

São consideradas métodos iniciais: trabalhos realizados para melhoria e menor uso de matérias-primas; utilização de insumos que sejam renováveis, que possam ser reciclados e com melhor eficiência energética; desenvolvimento de novos meios de se produzir e distribuir; reaplicar os resíduos gerados, sempre que for viável, na linha de produção, causando um menor descarte do mesmo (IPEA, 2012).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos estabelece diretrizes para se gerenciar os resíduos sólidos oriundos da indústria, sendo uma delas o apoio para que a indústrias invistam no plano gerencial de seus resíduos. O incentivo às indústrias para a utilização de resíduos sólidos, de reciclados e de recicláveis como matérias-primas, é um dos meios utilizados por esta diretriz; mais uma das estratégias é estimular a evolução tecnológica visando um descarte adequado, na ótica ambiental, para os resíduos da indústria, de acordo com o PNRS (BRASIL, 2010a).

Na procura de meios que reduzam os impactos ao ambiente, se destaca o ramo da construção civil, cujo qual é um dos setores que mais consome recursos extraídos da natureza, devido a isso é um ótimo

campo para se reinserir resíduos sólidos (LUCAS E BENATTI, 2008). O consumo de recursos naturais pela construção civil podem chegar até 50% do total extraído, fazendo com este ramo seja o que consome maior quantia em relação a outros, além de ser um grande consumidor energético, devido a isto, é imprescindível a busca por outras possibilidades, sobretudo de matérias-primas, que supram as necessidades da construção civil (JHON, 2008 apud LUCAS E BENATTI, 2008) .

### **2.1.3 Resíduos Sólidos e a Questão Ambiental**

Ao decorrer dos anos, pode-se observar uma alteração no que diz respeito às atitudes das pessoas. Juntamente com o aumento da população mundial, cresceu também a procura por mercadorias de origem industrial e, em quase todo o planeta, um hábito de consumo exacerbado. Informações fundamentadas pelas Nações Unidas, indicam que a população mundial está com cerca de 7,6 bilhões de pessoas, e a expectativa é que em 2030 esse número chegue em 8,6 bilhões, em 2050 a 9,8 bilhões e em 2100 a 11,2 bilhões (UNITED NATIONS, 2017).

O aumento populacional descontrolado acarreta em vários problemas, e acentua os já existentes, como por exemplo a desigualdade sociais, com milhões de pessoas sem o básico, de infraestrutura, com crescimento das áreas urbanas em lugares inapropriados, e principalmente a problemática ambiental, com um crescimento exacerbado por produtos de origem industrial e conseqüentemente maior quantidade de resíduos gerados.

Dados de 2012 mostram que 1.3 bilhão de toneladas de resíduos sólidos eram gerados anualmente no planeta, sendo que para 2025 a estimativa é que esse número cresça para 2.2 bilhões. Os valores necessários para a manutenção destes resíduos eram em torno de 205,4 bilhões de dólares em 2012, enquanto em 2025 a projeção é que atinja o valor de 375,5 bilhões de dólares. Os países considerados periféricos são os que sofrerão as maiores conseqüências (KYTE, 2012 apud ARAÚJO, 2018).

O crescimento na quantidade de resíduos gerados não ocorre somente devido ao aumento populacional, mas é também graças a uma menor vida útil dos produtos industrializados, bem como suas respectivas embalagens. Esses fatores causam um efeito de consumo exacerbado dos recursos naturais, os quais são finitos, portanto, existe um limite em relação a quantidade que é possível usufruir e em relação ao quanto de resíduos é possível devolver ao meio natural (ARAÚJO, 2018).

Segundo o Relatório do Banco Mundial a respeito dos resíduos sólidos, bem como de seu tratamento, calcula-se que estes resíduos sólidos inutilizados vêm aumentando de maneira mais rápida do que a proporção de aumento populacional. No ano de 2002, para cada uma das 2,9 bilhões de pessoas residentes em área urbana, eram descartados 0,64kg/dia de resíduo sólido. Uma década depois,

em 2012, para 3 bilhões de pessoas, a quantidade de resíduo cresceu para 1,2kg/dia por indivíduo. É estimado que para o ano de 2025, a população em zona urbana seja de 4.3 bilhões de pessoas, cada um desses gerando 1,42kg/dia (HOORNWEG AND BHADA-TATA, 2012).

Cada vez mais tem se centralizado na zona urbana o aumento populacional e a maior geração de resíduos sólidos. No Brasil, de acordo com o censo de 2010, a população é de aproximadamente 190.755.799 pessoas, sendo que maior parte desse número está nas áreas urbanas, sofrendo um aumento quando comparado a 10 anos atrás. De 2000 a 2010, a porcentagem de brasileiros residentes na zona urbana aumentou de 81% para 84%. Além de uma maior natalidade nestas áreas, ocorreram as migrações do meio rural para o urbano. O sudeste do país é a região com maior taxa de população morando na zona urbana, chegando a 92,9%.

De acordo com dados de 2017 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o destino final dos resíduos sólidos vem demonstrando vestígios de evolução, com um pouco mais da metade (59,1%) tendo como caminho os aterros sanitários, que são considerados locais apropriados. Mas é possível localizar locais inapropriados, como lixões e aterros controlados, que recebem 18% e 22,9%, respectivamente, em todas as regiões do Brasil. Os lixões e aterros controlados admitem mais de 80.000 toneladas/dia de resíduos, apresentando alto poder de poluição do ambiente (ABRELPE, 2017).

Em contrapartida a realidade observada, muita das vezes, não condiz com esses valores. É possível verificar que os lixões estão presentes por todo o território brasileiro, e estes continuam recebendo grandes quantidades de resíduos sólidos todos os dias. Esse fato leva a acreditar que o volume destinado aos lixões é superior aos 18% apresentados anteriormente, sendo um fator preocupante.

No ano de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sob a Lei Nº 12.305/2010, que apresenta um viés bem atualizado e aponta meios relevantes que viabilizam a gestão integrada e o controle de resíduos sólidos. Depois de anos de debates, a PNRS foi aceita e significou o ponto de partida de uma grande articulação institucional abrangendo a Federação como um todo (União, Estados e Municípios), o setor de produção e a comunidade, na procura de resolver as questões ambientais, sociais e econômicas derivadas do manuseio inapropriado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2012).

Entre as diretrizes da lei citada é a preservação da saúde pública e qualidade ambiental, minorar a geração de resíduos, buscando métodos de produção e consumo que sejam mais sustentáveis, como também disponibilizar dispositivos que viabilizem uma maior reciclagem e reutilização destes resíduos sólidos, dando a eles valores econômicos e sociais, que acarretam em trabalho e renda, e por fim um descarte ambientalmente correto a estes resíduos (BRASIL, 2010a).

Uma das principais características da PNRS é o estabelecimento da culpabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, sendo eles: os que fabricam, os que importam, os que distribuem, os que comercializam, os cidadãos e os responsáveis pela limpeza urbana pública e de manuseio dos resíduos sólidos; compreende também a logística reversa, a qual tem associação com os fabricantes.

O PNRS foi elaborado e regulamentado pelo Decreto n° 7.404/2010, previsto na lei 12.305/2010, cujo qual é de atribuição da união, por meio do Ministério do Meio Ambiente, no campo do Comitê Interministerial. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos tem permanência por tempo indeterminado, sendo elaborado prevendo um período não superior a 20 (vinte) anos, sofrendo revisões a cada 4 (quatro) anos. O PNRS reconhece a problemática dos inúmeros resíduos, os possíveis gerenciamentos aplicáveis para os mesmos, apresentando os objetivos a serem alcançados, medidas e atitudes para que ocorra consequências positivas quando comparado ao cenário atual (BRASIL, 2012).

O PNRS também expõe reflexões sobre os instrumentos econômicos (IE) empregados no gerenciamento de resíduos sólidos, os quais praticamente não existem no Brasil. Os IE apresentam três finalidades essenciais: custear as atividades de gestão; instruir as condutas dos agentes públicos, sociedade e produtores para que alcancem os objetivos dos municípios, estados e nação; e internalizar os problemas causados pela quantidade de resíduos gerada. Verificam-se grandes falhas na concretização destes instrumentos econômicos, tanto em âmbito federal, quanto estadual e municipal (BRASIL, 2012).

Portanto, o caminho para se alcançar um gerenciamento dos resíduos sólidos gerados, que seja no mínimo aceitável, são descritos pelo PNRS. Cabe agora a todos os setores buscar chegar a esses objetivos, fazendo com que se melhore gradativamente esse problema ambiental.

## **2.2 Fundição**

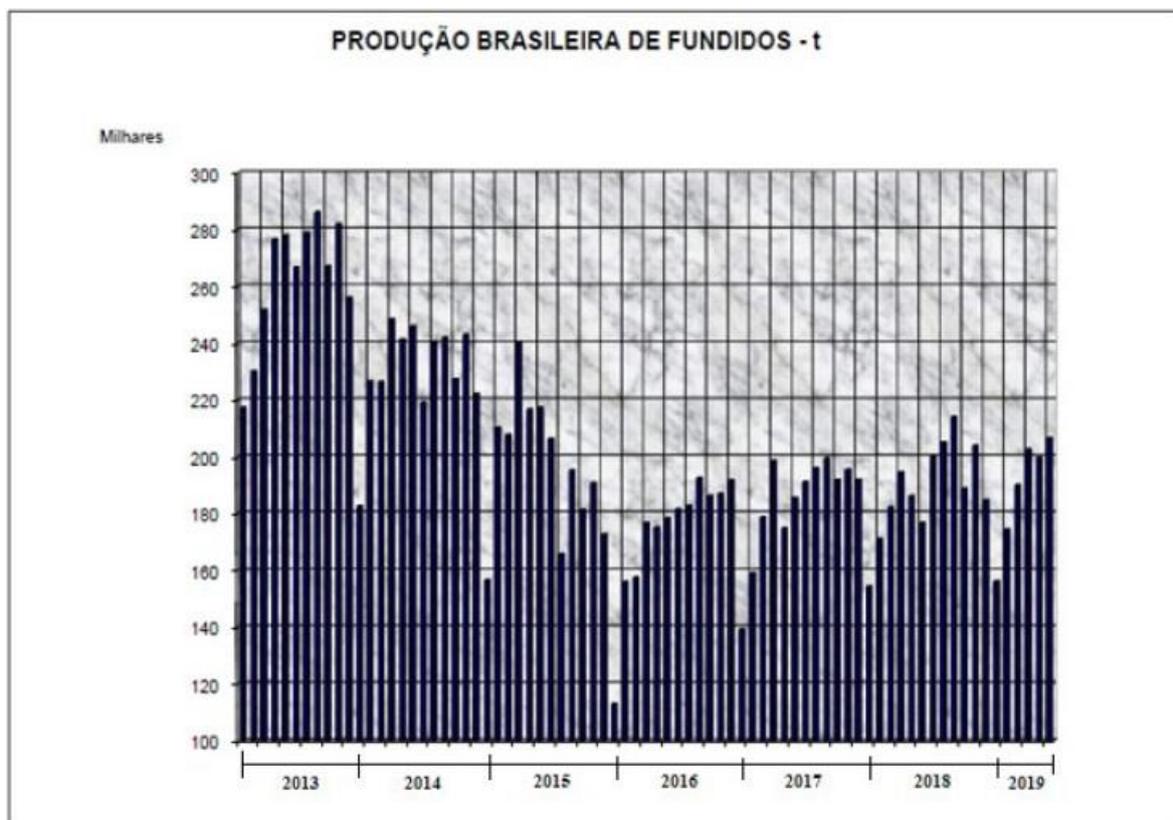
A fabricação de peças e ferramentas se dava por meio de outros métodos que antecederam o processo de fundição, e que dentre esses processos pode-se citar o talhamento, polimento, forjamento. É a partir desses processos precursores que se dá o início da fundição (SIEGEL, 1978).

Quando se trata de conformação de metais, a fundição é uma das melhores técnicas que podem ser empregadas, principalmente pelo fato de que, com esse método, é possível confeccionar peças de diversos modelos e tamanhos, de uma maneira relativamente básica e viável economicamente (KONDIC, 1973).

No Brasil a grande maioria das empresas de fundição é de pequeno para médio porte. Essas empresas empregam mais de 56.000 trabalhadores de acordo com dados de maio de 2019 (ABIFA,

2019). A figura 2 mostra em milhares de toneladas a produção brasileira de fundidos em cada mês, no intervalo entre janeiro de 2013 e maio de 2019.

**Figura 2:** Produção Nacional de Fundidos (toneladas x mês)



Fonte: Adaptado de ABIFA (2019)

Os últimos anos da fundição brasileira foram de recessão na produção, muito em reflexo da crise econômica nacional, mas mesmo com essa queda, é visto que a produção ainda é alta, o que gera uma quantidade significativa de resíduos (ABIFA, 2019).

### 2.2.1 O Processo de Fundição

Chiaverini (1986) diz que são muitos os procedimentos que podem ser feitos para se obter peças metálicas, sendo que, em sua grande maioria, utiliza-se dos metais em ponto de fusão, que ao se encontrar neste estado são colocados em um molde, cujo formato é da peça que se deseja obter.

Segundo Torre (2004), a confecção de peças fundidas se dá pelo preenchimento de moldes, com a forma que se deseja obter, através de um metal líquido, ou seja, que passou pelo processo de fusão. Existem quatro diferentes processos de fundição, que são classificados como: Fundição em Areia Verde; Fundição em Molde Permanente; Fundição por Injeção; Fundição de Precisão. Dentre os processos citados, a fundição em areia verde é um dos mais utilizados, pois é um dos métodos mais

simples, versáteis e barato de se conseguir peças fundidas, quando comparado a outros tipos de fundição, porém, gera uma quantidade significativa de resíduos (SOARES, 2000).

A primeira fase da fundição é a confecção dos modelos, que consiste na fabricação de um modelo com a aparência similar à da peça desejada, porém, para a determinação das dimensões deste modelo, deve-se levar em consideração a contração da matéria-prima após se solidificar. Esta fase é de fundamental importância para as etapas posteriores, pois é a partir do modelo pronto que será feito o molde. Os modelos são confeccionados em sua maioria de madeira, aço, alumínio, dentre outros materiais (TORRE, 2004).

**Figura 3:** Modelo confeccionado em madeira



Fonte: Simazza (2019), *online*.

Após o modelo ter sido confeccionado é realizada a moldagem que se dá pela adição de argila, areia de base, areia de retorno e aditivos necessários, que conferem as características desejadas, em um misturador para que haja uma boa homogeneização dos materiais de onde saem prontas para serem moldadas (PENKAITIS, 2012).

Para a obtenção do molde, que é o local onde será colocado o metal em estado de fusão para confecção da peça, a areia é colocada dentro de uma caixa, denominada caixa de moldagem, que em seu interior existe o modelo. Após a retirada do modelo é conseguida uma cavidade, no formato da peça desejada, onde entrará o metal líquido (CAMPOS FILHO, 1978).

De acordo com Chiaverini (1986), este é o meio de moldagem mais comum e mais acessível nas empresas de fundição. Baseia-se basicamente em prensar a areia de fundição, que apresenta característica plástica e refratária, constituída de areia silicosa, argila e água, entorno do molde na caixa de moldagem.

A figura 4 retrata um molde em areia verde tendo suas cavidades preenchidas com metal fundido.

**Figura 4:** Molde em Areia Verde



Fonte: Fremar (2019), *online*

Depois de realizada a moldagem, as duas metades do mesmo juntam-se, estando pronto para receber o metal líquido em seu interior. A fusão consiste no aquecimento da matéria-prima, fazendo com que chegue a temperatura de liquefação. Para esse processo são utilizados fornos, que podem ser de diversos tipos, tais como: forno de cadinho, forno de reverberação, forno cubilô, forno de indução, forno elétrico, dentre outros. Depois de fundido, o metal é vazado no canal de entrada do molde (BIOLO, 2005).

Após o metal fundido preencher completamente o molde, é iniciada a etapa de resfriamento, que segundo Biolo (2005) é uma das etapas mais críticas, pois se o resfriamento acontecer de maneira muito rápida, pode acarretar em tensões mecânicas, podendo aparecer trincas e bolhas no interior da peça. Com o metal já solidificado e devidamente resfriado, é realizada a desmoldagem e o acabamento da peça. A etapa de acabamento consiste em retirar as rebarbas existentes na peça por meio de rebolos. Algumas peças necessitam passar por alguns processos subsequentes, como usinagem, para conferir alguns detalhes não conseguidos no molde e dar um melhor acabamento, e banho de óleo, que previne a corrosão (DANTAS, 2003; MARINO, 2003 apud PENKAITIS, 2012).

### **2.2.2 Areia de Fundição**

A areia que é utilizada no processo de fundição tem a composição de sílica, argila, água e alguns outros componentes que podem variar de acordo com o local de onde foi apanhada, sendo mais comum óxido de ferro, cal e magnésio (TORRE, 2004).

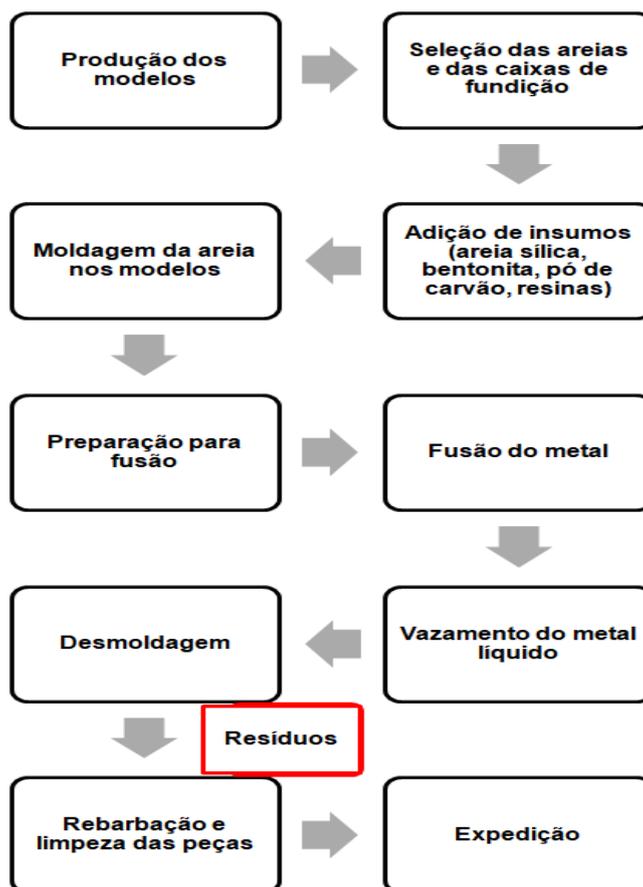
O molde em areia deve dispor de alguns recursos para realização do processo em condições adequadas. É necessário dispor de uma boa resistência mecânica, de modo que sustente o metal em fusão e não sofra com erosão causada pelo mesmo, e baixa formação de gases, para que não contamine o metal ou que permita a saída dos gases que forem gerados (CHIAVERINI, 1986).

Torre (2004) considera que para ser utilizada na confecção dos moldes, a areia necessita apresentar algumas características indispensáveis, sendo elas: Refratariedade, para que não se rompa devido a altas temperaturas; Porosidade, para que seja possível a saída de ar e dos gases gerados e, por fim, a Plasticidade, para melhor confecção dos moldes, os quais devem ser resistentes, para que possa suportar o metal fundido.

A fundição por areia verde trata-se de um método muito utilizado nas fundições brasileiras, por ser simples e versátil e de baixo custo, quando comparado a outros tipos de processos de fundição (SOARES, 2000).

O processo de moldagem em areia é o responsável pela maior parte de peças fundidas fabricadas. Depois de realizada a etapa de desmoldagem da peça, são gerados os resíduos sólidos de areia de fundição (BONET, 2002). A figura 5 apresenta as etapas do processo de fundição em areia através de um fluxograma.

**Figura 5:** Fluxograma do Processo de Fundição em Areia



Fonte: Adaptado Oliveira, 1998.

Analisando o fluxograma é possível verificar que a formação do resíduo no processo de fundição em areia ocorre após a retirada da peça fundida do interior da caixa de moldagem.

### 2.2.3 Descarte e Reutilização da Areia de Fundição

Com o passar do tempo e o aumento da sensibilização a respeito dos cuidados necessários com o meio ambiente, cada vez mais as indústrias têm se preocupado em melhorar seus meios de produção. A indústria da fundição, mesmo que reaproveite uma parte da areia na própria produção, necessita descartar esse material no meio ambiente, sendo os aterros sanitários os locais que mais recebem esse resíduo. A disposição deste material em aterros não é o caminho mais adequado, por conta das fiscalizações ambientais juntamente com a própria sociedade, que cada vez mais informada, não admite que as indústrias atirem seus resíduos sólidos no ambiente (BONET, 2002).

De acordo com a ABIFA (2019), para cada 1 tonelada de metal fundido, são gerados cerca de 600 kg de resíduo de areia de fundição, que corresponde a mais de três quartos do total de resíduos gerados por esse processo de fabricação e chega a quase 3% do total de resíduos industriais gerados no país. Sabendo que as empresas de fundição no Brasil confeccionaram cerca de 200.000 toneladas de fundidos em maio de 2019, é possível ter uma dimensão da quantidade de areia de fundição que é descartada.

A necessidade de se descartar a areia de fundição pela indústria, ocorre por alguns motivos, tais como a perda de volume, incapacidade de ser moldada, entre outras perdas de características do composto. Dessa forma, se faz necessário uma reposição regular de areia no processo, levando ao descarte parte que já não pode mais ser aproveitada (BINA, 2002).

Os dados demonstram que o descarte desse resíduo é um aspecto ambiental a ser considerado pelas fundições, tendo em vista o grande volume e o fato de que ele pode não ser totalmente inerte. Embora alguns autores digam que de maneira geral as areias de fundição possam ser consideradas como resíduo não perigoso, a categorização depende unicamente do processo de moldagem, portanto, de quais “contaminantes” que entram em contato e da concentração destes. As areias de fundição em sua maioria apresentam características da classe IIA (resíduos não inertes) de resíduos, porém algumas podem quantidades significativas de fragmentos, com fenóis em concentrações maiores do que estabelecidas, o que faz com que sejam classificadas na classe I, resíduos perigosos (MARIOTTO, 2001).

Segundo Penkaitis (2012), disposição inadequada desses resíduos pode gerar impactos ambientais, principalmente, em solo e águas superficiais e subterrâneas. Áreas contaminadas são geradas na medida em que os contaminantes dessas areias entram em contato com solo e água e lixiviam a contaminação em limites de aceitação acima do previsto pelos órgãos ambientais.

Mesmo com o empenho para reduzir o descarte e dos estudos já realizados que apontam meios de se reaproveitar a areia de fundição em vários setores, principalmente na construção civil, um grande

volume deste resíduo ainda é despejado em aterros sanitários e industriais, ou até mesmo sem nenhum controle (BINA, 2002).

Existem registros de que a areia de fundição foi usada experimentalmente em um dos níveis de uma pavimentação asfáltica, no município de Guaramirim/SC, com a areia sendo supostamente inerte quando encobrida pela massa asfáltica, não apresentando nenhum risco químico a sociedade e ao ambiente. O autor evidencia que é necessário a realização de outros testes para que essa utilização seja liberada pelos órgãos ambientais (PROENÇA, 2001 *apud* BINA, 2002).

Em outro estudo, realizado por Tikasky *et al.* (2000), aponta um possível uso de areia de fundição descartada na construção civil, aplicando-a em uma argamassa especial, chamada de “Controlled Low-Strength Material”, ou material controlado de baixa resistência, em que esta é utilizada para ocupação de espaços oriundos de escavações em serviços de terraplanagem.

Bonet (2002), Coutinho Neto e Fabbri (2004) e Carnin (2008) realizaram uma pesquisa com a finalidade de se avaliar a possível reutilização da areia de fundição em misturas asfálticas. Depois de realizados os ensaios, foi verificado que as misturas asfálticas confeccionadas com resíduo apresentaram boas propriedades mecânicas, portanto conclui-se que a reutilização de areia de fundição na composição de misturas asfálticas é viável.

A oportunidade de se reutilizar a areia de fundição reduz a necessidade de despejá-lo em aterros sanitários, acarretando em uma economia nos gastos da realização deste despejo. Com isso se consegue agregar valor a este resíduo, seja para o próprio gerador ou para outro, que tenha capacidade de utilizá-la de maneira adequada. Outro ponto positivo é que a reutilização da areia de fundição promove uma grande economia na utilização de matérias-primas, no processo em que será reaproveitada (BINA, 2002).

#### **2.2.4 Normas e Regulamentações Brasileiras sobre a Areia de Fundição**

Com o intuito de analisar os problemas causados pelo manuseio e despejo da areia de fundição e visando elaborar uma regulamentação própria para o setor, em setembro de 2007 foi criado o Comitê Brasileiro de Fundição – ABNT/CB – 59. A atuação deste comitê baseia-se na normalização no campo da fundição abrangendo a fundição de ferro, de aço e de não ferrosos, insumos, matéria-prima, resíduos no que concerne à terminologia, requisitos, métodos de ensaio e generalidades. Este Comitê inseriu a Comissão de Estudos de Areia de Fundição (59:001.01). O comitê iniciou dois projetos sobre as areias descartadas de fundição, que são: 59:001.01-001- Áreas de Triagem, disposição e Reciclagem; 59:001.01-002- Aplicações como Agregado em Construção Civil e Coberturas de Aterros Sanitários (ABIFA, 2008).

- 59:001.01-001- Áreas de Triagem, disposição e Reciclagem;
- 59:001.01-002- Aplicações como Agregado em Construção Civil e Coberturas de Aterros Sanitários.

Após estudos da comissão o primeiro projeto sob o número 59:001.01-001, culminou na norma ABNT NBR 15702:2009, que entrou em vigor em 05 de junho de 2009 tendo como escopo o estabelecimento de “diretrizes para aplicação de areias descartadas de fundição como matéria-prima em concreto asfáltico e cobertura diária em aterro sanitário”. Esta norma define as condições a serem obedecidas (classificação do resíduo, concentrações máximas de alguns elementos químicos em ensaios determinados, obtenção de autorizações ambientais junto aos órgãos competentes, entre outras), as documentações a serem geradas e os procedimentos a serem executados por todos os envolvidos: geradores, gestores responsáveis e usuários responsáveis por receber, reciclar ou reutilizar as areias de fundição (ABNT, 2009).

A Comissão de Estudos de Resíduos de Fundição concluiu o segundo projeto, sob o número 59:001.01-002, intitulado “Areia descartada de fundição – Central de processamento, armazenamento e destinação final – CPAD”. Esta norma visa estabelecer as diretrizes para projeto, construção e operação das áreas utilizadas para receber, processar, armazenar e destinar as areias descartadas de fundição para reuso, reciclagem ou disposição, bem como fornecer condições para boas práticas de gestão das areias descartadas de fundição, sem intervir na opção de destinação diretamente para aterros licenciados (ABIFA, 2011).

Outro projeto em estudo dessa comissão é o guia de referência ambiental para reuso da areia descartada de fundição. Este projeto estabelecerá padrões de referência para as areias descartadas de fundição para aplicações gerais e complementar a NBR 15702:2009 (ABIFA, 2011).

### **2.3 Concreto**

O concreto é um material de construção completamente difundido no mundo, o qual pode ser encontrado por todas as partes, seja em edificações de alvenaria, em usinas hidrelétricas, obras de saneamento e em diversas outras aplicações. Calcula-se que são consumidos aproximadamente 11 bilhões de toneladas de concreto anualmente, sendo esse valor inferior somente ao consumo de água. Em âmbito nacional, o valor do uso do concreto em um ano é em torno de 30 milhões de metros cúbicos (IBRACON, 2009).

Concreto é definido como sendo um material da construção civil constituído por cimento, areia, brita e água. Quando necessário pode-se utilizar aditivos para conferir algumas peculiaridades

(NEVILLE, 1997; PETRUCCI, 1998). Petrucci (1998) ainda diz que o concreto quando recém misturado, deve apresentar um grau de plasticidade que possibilite o manuseio para que seja colocado nas formas e que com o passar do tempo, através da interação entre o aglomerante e água, apresente coesão e resistência.

O surgimento do concreto deu-se no século II a.C., quando apareceu o primeiro aglomerante conhecido, chamado de “pozolana”, era uma espécie de areia de origem vulcânica que somente era achada na região sul da Itália, mais precisamente na baía de Nápoles. Esse aglomerante era largamente utilizada pelo povo romano em argamassas, surgindo assim diversas construções, sendo o Pórtico Amélia a mais antiga que se tem registro, erguido em 193 a.C. A pozolana trata-se de uma areia especial que apresenta reações químicas quando entra em contato com cal e água. Este era usado juntamente com pedras, unindo-as e formando um tipo rústico de concreto (METHA e MONEIRO, 1994).

Os concretos podem também ser classificados em relação à sua resistência à compressão aos 28 dias, conforme a ABNT NBR 8953 (2015), como sendo de baixa resistência quando apresentam menos de 20 MPa (não adequado à finalidade estrutural), de resistência normal, com valores entre 20 a 50 MPa, e de alta resistência com valores de resistência maiores de 50 MPa.

### **2.3.1 Componentes do Concreto**

#### **2.3.1.1 Cimento Portland**

O cimento Portland foi desenvolvido por um construtor inglês chamado Joseph Aspdin, que conseguiu a patente deste material em 1824. Nesta mesma época, na Inglaterra, era comum a utilização de pedra de Portland para se construir, sendo Portland uma ilha situada no sul desse país. Devido a semelhança, na cor e na dureza, de sua invenção com a pedra de Portland, ele deu esse nome a sua patente.

A American Society for Testing and Materials C150 (1998) define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico conseguido através da moagem do clínquer, que se constitui principalmente de silicatos de cálcio hidráulicos, geralmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição. O clínquer apresenta um diâmetro médio entre 5 a 25 mm.

### **2.3.1.2 Agregados**

Petrucci (1998) define “agregado” como “material granular sem forma ou volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia”. Os agregados exercem uma relevante função nas argamassas e concretos, e apresentam uma atuação benéfica sobre algumas peculiaridades importantes, como: retração, aumento da resistência ao desgaste, etc., sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade têm resistência mecânica superior à da pasta de aglomerante (PETRUCCI, 1998).

A NBR 7211 (ABNT, 2009), define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou proveniente do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. O agregado graúdo é definido como pedregulho ou brita oriunda de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, nos quais os grãos passam por uma peneira de malha com abertura de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

### **2.3.1.3 Água**

A água usada na mistura do concreto não deve apresentar impurezas que possam prejudicar as reações entre ela e o cimento, porém, em pequenas quantidades as impurezas podem ser relevadas, pois não causarão, pelo menos aparentemente, efeitos danosos (PETRUCCI, 1998). Se estiverem presentes em grande quantidade, as impurezas na água podem influenciar as propriedades do concreto (METHA & MONTEIRO, 1994).

Segundo Neville (1997), a água é responsável pelas reações de hidratação do cimento, que permitem a ligação entre os componentes do concreto e concede a plasticidade da mistura. A relação água/cimento, estipula a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação. Desta maneira, percebe-se que a relação água/cimento afeta, o volume de vazios do concreto.

## **2.3.2 Incorporação de Resíduos no Concreto**

Existem diversos estudos a respeito de se incorporar diferentes tipos de resíduos na confecção do concreto. Gonçalves (2000) pesquisou a possibilidade de se utilizar o resíduo proveniente do corte de granito na produção do concreto, e este concluiu que esta incorporação é viável tecnicamente e não demonstra riscos ambientais.

Leite (2001) avaliou o comportamento de concretos fabricados com resíduos da própria construção civil e de demolição. Após ter sido realizada a análise dos resultados, foi comprovada a viabilidade de se confeccionar o concreto utilizando esses resíduos.

Outro estudo, realizado por Vieira (2005), apontou que o concreto fabricado com resíduo de cerâmica vermelha teve uma redução em sua resistência à compressão, embora esta redução não tenha sido proporcional a quantidade de resíduo incorporado na mistura.

Fioriti e Akasaki (2004) e Granzotto (2010) analisaram a possibilidade de se confeccionar concreto fazendo uso de resíduo de pneu na composição. Os ensaios demonstraram que é viável utilizar deste resíduo no concreto. Porém os dois estudos apontaram um limite máximo para o emprego do resíduo de pneu na mistura, para que não afete a qualidade e resistência do produto final.

Por meio das diversas pesquisas já realizadas com o concreto, é possível observar que este é um material que permite a incorporação de resíduos na sua composição, desde que sejam realizados os ensaios necessários para verificar se as propriedades atendem as especificações e atestar a qualidade do material.

### **3. METODOLOGIA**

Em termos metodológicos, para esse artigo foi adotada uma estratégia de pesquisa exploratória descritiva para maior aprofundamento dos temas estudados, por meio dos bancos de teses, dissertações e artigos científicos, Periódico Capes e Google acadêmico. Foram utilizados operadores os operadores booleanos (Areia de fundição; Reaproveitamento; Concreto com Resíduo), com o intuito de direcionar a pesquisa a estudos que se encaixavam dentro do tema abordado, com isso foram localizados 48 artigos, desses 23 foram considerados devido a compatibilidade com o tema.

### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Devido ao fato de ser um dos setores que mais consome recursos naturais, necessitando de novas alternativas que reduzam esse consumo e por ser uma indústria que se faz presente em todo o lugar, sempre com alta utilização, a construção civil surge como uma grande possibilidade para que resíduos sólidos possam ser reciclados e reutilizados.

Com isso, diversos estudos nas mais variadas instituições vêm pesquisando sobre a utilização de resíduos no setor de construção civil, analisando de acordo com o tipo e quantidade de resíduo utilizado, a maneira em que foram empregados e como se dá o comportamento das propriedades do material produzido com resíduo, verificando também as questões ambientais e econômicas.

Para que os resultados das pesquisas cheguem às empresas de construção civil, e estas disponham de todas as vantagens de se utilizar resíduos como matéria-prima alternativa em seus processos, é necessário que haja uma maior e melhor publicação dos resultados obtidos.

## 5. CONCLUSÃO

Neste estudo, de revisão de literatura, pode-se notar que a partir de 2013 houve uma queda no setor de fundição no Brasil, mas que apresenta sinais de recuperação, com a produção de janeiro a maio deste ano superando a produção do mesmo período no ano anterior. Mesmo com essa redução, a quantidade de peças fundidas produzidas mensalmente é bastante significativa, portanto, a geração dos resíduos provenientes dessa atividade também é considerável. Com isso, é importante realizar uma busca por meios que minimizem o descarte inapropriado.

É necessário verificar as propriedades mecânicas dos corpos de prova confeccionados com resíduo de areia de fundição para que se chegue a uma porcentagem ideal de incorporação do resíduo, sem deixar de atender as especificações técnicas. A realização das diversas análises tais como a caracterização do resíduo de fundição, para se conhecer suas características e seus componentes, e os ensaios dos corpos de prova com resíduo, para se obter as propriedades mecânicas, fica como sugestão de realização posterior para continuidade dessa pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. **Índices Setoriais**. 2019 Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/indices-setoriais/>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **ABNT/CB-59** Revista da Abifa. Agosto, 2008. edição 99.

\_\_\_\_\_. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição**. São Paulo, 1999. p.49 apud BIOLO, 2005.

\_\_\_\_\_. **Areias Descartadas de Fundição (ADF)**. 2011 Disponível em: <[www.solucoesadf.com.br](http://www.solucoesadf.com.br)>. Acesso em: 04 jul. 2019.

ARAÚJO, M. V. F de. **Avaliação de Revestimento Cerâmico Ornamental Produzido com a Adição de Resíduos de Pneu**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA), Instituto Federal Fluminense, Macaé, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 03 jul. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT NBR 10004: Classificação de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro. ABNT, 2004a, 71p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto**. Rio de Janeiro. ABNT, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro. ABNT, 2015, 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007: Amostragem de Resíduos**. Rio de Janeiro. ABNT, 2004b, 25p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15702: Areia descartada de fundição - Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário**. Rio de Janeiro. ABNT, 2009, 8p.

ASTM C 150, “**Standard Specification for Portland Cement**,” ASTM International, West Conshohocken, Pa., pp. 134-138, 1998.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 3 Ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2011.

BINA, P. **Metodologia de utilização e rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caso de uso de areia de fundição**. Dissertação (Mestrado em Habitação) – Programa de Pós Graduação em Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo, 2002.

BIOLO, S. M. **Reuso do Resíduo de Fundição Areia Verde na Produção de Blocos Cerâmicos. Dissertação de Mestrado** - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BONET, I. I. **Valorização do Resíduo de Areia de Fundição (RAF). Incorporação nas Massas Asfálticas do Tipo C.B.U.Q.** Dissertação (Programa de pós-graduação em engenharia de produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei Federal no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010a. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 17 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Decreto no 7.404 de 23 de dezembro de 2010. **Regulamenta a Lei no 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 23 dez. 2010b. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm)>. Acesso em: 11 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/web/guest/plano-nacional-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

CAMPOS FILHO, M. P. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

CARNIN, R. L. P. **Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Mistura Asfáltica**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica – Volume I**. 2ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986.

COUTINHO NETO, B.; FABBRI, G. T. P. **Avaliação da reutilização da areia de fundição em misturas asfálticas densas do tipo CAUQ**. Revista Transportes, vol.XII, pg 50-57, 2004.

DANTAS, J. M. **Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundição: Regenerador Térmico - Plano de Trabalho da Fase II**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo, 2003.

FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. R. **Fabricação de Blocos Estruturais de Concreto com Resíduos de Borracha de Pneus**. Holos environment, v.4, n.2, p. 146, 2004.

FREMAR, **Fundição em Areia Verde**, 2019. Disponível em: <<http://www.fremar.com.br/fundicaoareia-verde>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como Adição para Produção de Concretos**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

GRANZOTTO, L. **Concreto com Adições de Borracha: Uma Alternativa Ecologicamente Viável**. 132f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P., **What a Waste: a Global Review of Solid Waste Management**, Washington, v.15, Março de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – 2008. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON. **Concreto: Material Construtivo mais consumido no Mundo**. Revista Concreto e Construções, Ano XXXVII, n.53, p.78, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais** – Relatório de Pesquisa, 2012. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2019.

JOHN, V. M. **A construção, o meio ambiente e a reciclagem**. Disponível em: <[http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a\\_construcao\\_e.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm)> Acesso em: 14 jan. 2008.

KONDIC, V. **Princípios metalúrgicos de fundição**. 1ed. São Paulo: Polígono, 1973.

KYTE, R. Foreword. **What a Waste: a Global Review of Solid Waste Management**, Washington, v.15, p. 7, Março de 2012.

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. **Utilização de Resíduos Industriais Para a Produção de Artefatos Cimentícios e Argilosos Empregados na Construção Civil**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente (RAMA), Maringá, v.1, n.3, p. 405-418, 2008.

MARINO, R. H. **Utilização de Areia de Fundição em Concreto. Projeto premiado pela Bayer “Prêmio de Meio Ambiente”**. USP, 2003.

NETO, E. L. E. **Destinação final dos resíduos sólidos urbanos no estado do Rio de Janeiro e a aplicação dos instrumentos de regulamentação e controle ambiental: uma abordagem crítica.** Dissertação de Mestrado em Saúde Pública - Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública, 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto** / Tradução Salvador E. Giammusso – São Paulo, Pini, 1997.

OLIVEIRA, T. M. N. **Eco-estratégia empresarial no setor metal-mecânico da escola técnica Tupy,** 1998. Tese de Doutorado em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

PENKAITIS, G. **Impacto Ambiental Gerado Pela Disposição de Areias de Fundição: Estudo de Caso.** Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PETRUCCI, E.G., **Concreto de Cimento Portland:** São Paulo: ABCP, 1998.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Aproveitamento de Resíduos na Construção.** Coletânea Habitare

SIEGEL, M. **Processos de Fundição: generalidades, considerações gerais sobre a escolha do processo, importância relativa dos diversos processos.** 10ª ed., Associação Brasileira de Metais – ABM, 1978.

SIMAZZA, **Modelos em Areia,** 2019. Disponível em: <<http://www.simazza.com.br/images/produtos/madeira/prod5-gd.jpg>> Acesso em: 02 jul. 2019.

SOARES, G. de A. **Fundição: Mercado, Processos e Metalurgia.** Notas de aula para o curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós- Graduação e Pesquisa de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

TIKALSKY, P.; GAFFNEY, M.; REGAN, R. **Properties of Controlled Low-Strength Material Containing Foundry Sand** - ACI MATERIALS JOURNAL - Title 97 - M79 - pag. 698 a 702, 2000.

TORRE, J. **Manual Prático de Fundição e Elementos de Prevenção da Corrosão.** 1 ed. Curitiba: Hemus, 2004.

UNITED NATIONS - Department of Economic and Social Affairs. **World Population Prospects: the 2017 revision.** Disponível em:

<<https://www.un.org/development/desa/publications/worldpopulationprospects-the-2017revision.html>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

**VIEIRA, A. A. P. Estudo do Aproveitamento de Resíduos de Cerâmica Vermelha como Substituição Pozolânica em Argamassas e Concretos. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.**

## ARTIGO CIENTÍFICO 2

### ASPECTOS AMBIENTAIS, LEGAIS E TECNOLÓGICOS SOBRE O DESCARTE DA AREIA DE FUNDIÇÃO: UM ESTUDO NO NOROESTE FLUMINENSE *ENVIRONMENTAL, LEGAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS ON DISPOSAL OF CASTING SAND: A STUDY IN NORTHWEST FLUMINESE*

Lucas Xavier Pereira da Silva - IFFluminense/PPEA

#### RESUMO

A fundição em moldes de areia é um dos processos de fabricação mais utilizados mundialmente por ser relativamente simples e de baixo custo. Em contrapartida, é uma atividade altamente poluidora por gerar grande quantidade de resíduo sólido. O grande volume de areia de fundição, que em sua maioria é descartado em aterros sanitários, é um passivo ambiental e, pode ser classificado como resíduos classe I (perigosos), podendo causar contaminação em solos e águas. As empresas de fundição ainda encontram dificuldades para cumprir as determinações legais, seja devido à falta de aplicação do Plano Nacional de Gerenciamento de Resíduos Sólidos por parte das empresas, a Lei 12.305/10, seja por falta da existência/aplicação de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) pelos gestores dos municípios, comprometendo a sustentabilidade do setor. Este trabalho teve como objetivo diagnosticar o descarte das areias de fundição em indústrias de 5 municípios do Estado do Rio de Janeiro, avaliando aspectos ambientais, legais e tecnológicos, comparando referências mundiais sobre o gerenciamento desse resíduo. Em termos metodológicos, a investigação descritiva e exploratória foi conduzida por meio de pesquisa bibliográfica e documental na base de dados Google Acadêmico e Periódicos Capes, com um recorte temporal de 10 anos, onde foram considerados 26 artigos, assim como os PMGIRS e os Planos Municipais de Saneamento Básico. Com base nos resultados, conclui-se que a existência de um grande número de pequenas empresas não legalizadas no setor dificulta o rastreamento dos procedimentos adotados com os resíduos gerados nos processos, assim como o atendimento às normas que foram estabelecidas nas legislações ambientais. A maioria das empresas pesquisadas nos municípios não incorpora as inovações tecnológicas, não há informações disponíveis sobre o tratamento do resíduo, nem acerca do local em que é realizado o descarte. A pesquisa faz uma descrição ambiental atual dos municípios em questão, com base na PNRS 12.305/10, no PMGIRS, em relação ao descarte das areias de fundição e nos dados disponíveis, identificando as tecnologias de reaproveitamento, de forma a contribuir para uma gestão integrada de resíduos sólidos regional, economia de recursos naturais e desenvolvimento sustentável.

**Palavras chave:** Areia de Fundição. Descarte. Sustentabilidade.

### **ABSTRACT**

*Sand mold casting is one of the most widely used manufacturing processes worldwide as it is relatively simple and inexpensive. On the other hand, it is a highly polluting activity because it generates a large amount of solid waste. The large volume of foundry sand, which is mostly disposed of in landfills, is an environmental liability and can be classified as class I (hazardous) waste, which can cause soil and water contamination. Foundry companies still find it difficult to comply with legal requirements, either due to the lack of application of the National Solid Waste Management Plan by companies, Law 12.305/10, or due to the lack of existence / application of a Municipal Plan Integrated Solid Waste Management (PMGIRS) by city managers, compromising the sector's sustainability. This study aimed to diagnose the disposal of foundry sands in industries in 5 municipalities in the State of Rio de Janeiro, evaluating environmental, legal and technological aspects, comparing world references on the management of this waste. In methodological terms, the descriptive and exploratory investigation was conducted through bibliographic and documentary research in the Google Scholar and Periodicals Capes database, with a 10-year time frame, where 26 articles were considered, as well as the PMGIRS and the Municipal Plans Basic Sanitation. Based on the results, it is concluded that the existence of a large number of small companies that are not legalized in the sector makes it difficult to trace the procedures adopted with the waste generated in the processes, as well as to meet the standards that were established in environmental legislation. Most of the companies surveyed in the municipalities do not incorporate technological innovations, there is no information available on the treatment of the waste, nor on the place where the disposal is carried out. The research makes a current environmental description of the municipalities in question, based on PNRS 12.305 / 10, in PMGIRS, in relation to the disposal of foundry sands and the available data, identifying the reuse technologies, in order to contribute to an integrated management regional solid waste, saving natural resources and sustainable development.*

**Keywords:** *Foundry Sand. Discard. Sustainability.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil estabeleceu em 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sob a Lei Nº 12.305/2010, que aponta meios relevantes que viabilizam a gestão integrada e o controle de resíduos sólidos. Depois de anos de debates, a PNRS foi aceita e significou o ponto de partida de uma grande articulação institucional abrangendo a Federação como um todo (União, Estados e Municípios), o setor de produção e a comunidade, na procura de resolver as questões ambientais, sociais e econômicas derivadas do manuseio inapropriado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2012).

Entre as diretrizes da lei citada estão a preservação da saúde pública e da qualidade ambiental, a redução da geração de resíduos, e a busca por métodos de produção e consumo que sejam mais sustentáveis, como também disponibilizar dispositivos que viabilizem uma maior reciclagem e reutilização destes resíduos sólidos, dando a eles valores econômicos e sociais, que acarretam em trabalho e renda, e por fim um descarte ambientalmente correto a estes resíduos (BRASIL, 2010).

Uma das principais características da PNRS é o estabelecimento da culpabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, sendo eles: os que fabricam, os que importam, os que distribuem, os que comercializam, os cidadãos e o responsáveis pela limpeza urbana pública e de manuseio dos resíduos sólidos; compreende também a logística reversa, a qual tem associação com os fabricantes.

Peças fundidas são produtos considerados básicos na maioria das cadeias produtivas, com isso a fundição tem o papel de grande importância no crescimento industrial das nações (SIEGEL, 1978; SILVA, 2010; FAGUNDES *et al*, 2010), sendo adotada como um dos fatores indicativos de crescimento econômico. De acordo com o senso da Associação Brasileira de Fundidos (ABIFA), o Brasil já ocupou o posto de sétimo maior produtor mundial no setor de fundição, mas junto com a crise econômica, a produção sofreu uma queda, porém, os números ainda mostram resultados bem relevantes, chegando à marca de mais de 2 milhões de toneladas produzidas no ano de 2020 (ABIFA, 2020).

A fundição é considerada uma atividade altamente poluidora, devido ao grande volume de resíduos sólidos produzidos, sendo a areia descartada de fundição um dos principais deles. Para os órgãos de controle ambiental, o descarte da areia de fundição em centrais de resíduos se apresenta como a opção que poderia ser utilizada, porém essa atividade tende a ficar cada vez mais cara (US\$ 20-50/t), alterando o valor da produção. No entanto, esta não é uma alternativa ideal, pois um aterro, mesmo sendo controlado, consiste em um passivo em que as consequências futuras são imprevisíveis. Em resumo, o descarte do resíduo de fundição em aterros não pode ser considerada uma saída final, porém como um adiamento da solução (ABIFA, 1999 apud BIOLO 2005).

A grande quantidade desse resíduo que é destinada a aterros faz com que a vida útil deste local seja reduzida. Para diminuir o volume despejado em aterros e também em locais inadequados, vem sendo pesquisadas maneiras de se reutilizar as areias descartadas do processo de fundição, até mesmo em outras áreas. Em alguns países já existem leis e regulamentações que definem parâmetros para esse reaproveitamento em setores como a construção civil, pavimentação e agronegócio (PENKAITIS, 2012).

O trabalho de pesquisa busca realizar um levantamento de dados, sobre o descarte das areias de fundição, avaliando os aspectos ambientais, legais e tecnológicos em indústrias da região Noroeste Fluminense, correlacionando aspectos mundiais sobre o gerenciamento do resíduo em relação ao descarte e reaproveitamento.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. A Areia de Fundição Como Resíduo e Sua Classificação**

A fabricação de peças fundidas no Brasil chegou à marca de mais de 2 milhões de toneladas produzidas no ano de 2020, o que deixa claro que esse setor tem grande representatividade na economia brasileira. Considerando que desse montante produzido, mais de 10% são de resíduos que precisam ser descartados, o volume total de resíduos gerados chega ao entorno de 200 mil toneladas por ano (ABIFA, 2020).

Dos resíduos que são originados no processo de fundição, a areia de fundição é considerada a principal. Os componentes básicos do preparo das areias de fundição são areia, pó de carvão, bentonita e água. A areia verde recebe essa nomenclatura por conta da etapa de preparação da mistura, em que os mesmos não passam pela técnica de sinterização, ou seja, não são levados ao forno. Os grãos, de diferentes gramaturas, são colocados em um compactador, e ao se aplicar a força, eles se organizam, formando uma estrutura compactada (SILVA, 2007). Segundo Bina (2002), o descarte dessa areia acontece por vários motivos, tais como: a perda de volume ao entrar em contato com o metal, perda das propriedades dos elementos da composição e impossibilidade de ser moldada. Após a desmoldagem da peça, última etapa do processo de fundição, é comum ser feita a reposição de alguns dos componentes, com o intuito de conferir novamente à areia as propriedades necessárias. No entanto, após diversos usos, já não é mais possível atingir essas propriedades através da reposição, sendo necessário ser realizado o descarte da mesma.

A bentonita trata-se de um silicato de alumina hidratado, composto por silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio. O pó de carvão é composto por matéria volátil, carbono fixo, cinzas,

água e enxofre. A água desempenha a função de possibilitar a coesão de todos os elementos presentes na mistura, por meio da elevação do teor de umidade. Existem diversos outros elementos que podem ser utilizados como aditivos na mistura da areia verde, tais como a dextrina, pó de madeira, e outros (COSTA e GIÃO, 2001 *apud* SILVA, 2007).

Segundo a *Foundry Sand Beneficial Reuse Manual - Special Report* (1996) *apud* CHEGATTI (2004), a composição da mistura da areia de fundição, em sua maioria, segue as concentrações dos componentes como descrito a seguir pela tabela 1.

**Tabela 1:** Composição típica e propriedades da Areia Verde

<b>Componente/Propriedade</b>	<b>Limites</b>
<b>Areia</b>	70-80%
<b>Água</b>	2-4%
<b>Argila</b>	5-15%
<b>Aditivos</b>	2-5%
<b>Umidade</b>	0-4%
<b>Perda ao Fogo</b>	0.2-8%
<b>pH</b>	3-12
<b>Argila AFS</b>	40-150
<b>% Finos (peneira 200 Mesh)</b>	1-2%
<b>Densidade</b>	1.0-1.6 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado de *Foundry Sand Beneficial Reuse Manual - Special Report* (1996) *apud* CHEGATTI (2004)

A fundição em areia verde é a grande responsável pela geração dos resíduos provenientes do processo de fundição, atingindo cerca de 80% do volume total. O restante é vindo das areias de macharia, que são as areias aglomeradas com resina e utilizadas na confecção dos machos, que tem a função de gerar os espaços vazios na peça (SILVA, 2007).

No preparo das areias de macharia são aplicadas resinas sintéticas à areia-base. Também conhecidas como resinas fenol-formol ou FF, tratam-se de substâncias sintéticas geradas por meio da reação de fenóis com formol. As resinas podem ser confeccionadas por dois processos, o ácido, o que denomina a resina como ácida ou novolaca, e o processo alcalino, que nomeia as resinas como resóis ou alcalinas (SILVA, 2007). A utilização dessas resinas faz com que as peças apresentem um melhor acabamento e boa resistência ao uso de machos no processo. Porém, na etapa de desmoldagem da peça, a areia apresenta contaminação com a resina fenólica que possuem toxicidade (MARIOTTO, 2000 *apud* SCHEUNEMANN, 2005). Sendo essa areia descartada de forma inapropriada, de acordo com a quantidade lixiviada, pode vir a causar danos e contaminações nos solos e lençóis freáticos (WINKLER & BOL'SHAKOV, 2000 *apud* CHEGATTI, 2004).

Existem outros tipos de resinas, além das fenólicas, que são utilizadas no preparo da areia de fundição, tais como: Resinas Uréia-formol, que é obtida através da reação de formol com uréia;

Resinas Furânicas, que são resinas mais complexas que podem apresentar em sua composição ureia-formol, álcool furfúlico e/ou fenol-formol furfúlico (SILVA, 2007).

Filipkowski et al. (2001) *apud* Oliveira (2007) apresentaram as principais peculiaridades dos elementos utilizados como matérias-primas na fabricação de resinas sintéticas. Sendo elas:

- Metanol (álcool metílico): líquido a temperatura ambiente, não apresenta coloração, apresenta toxicidade, inflamabilidade, diluível em água.
- Formol (formaldeído): apresenta estado gasoso à temperatura ambiente, normalmente é associado com água para resultar em uma substância sem cor e límpida, com cheiro forte, que provoca irritação e poder lacrimojante.
- Fenol: apresenta estado sólido com estrutura cristalina, sem cor, toxicidade e potencial corrosivo. Possui solubilidade em água, álcool e éter.
- Uréia: tem a estrutura sólida e cristalina, branca, com pouco odor e não inflamável.
- Álcool furfurílico (furforol): líquido tóxico, com solubilidade em álcool e éter e água, facilmente resinificável com ácidos.

Um dos objetivos das pesquisas tem sido em diminuir a geração do resíduo e realizar o seu reaproveitamento, como por exemplo nos estudos de Mazariegos (2008), Klinsky; Fabbri (2009), Kaur; Siddique; Rajor (2012), Andrade; Carnin; Pinto (2018) e Costa *et al.* (s.d.). Os trabalhos nessa área são recentes, em contrapartida o setor de fundição gera esses resíduos há muitos anos, sendo muitas vezes despejado de maneira irregular em ambientes inadequados (GARCIA *et al.*, 2005 *apud* MORAES *et al.*, 2010).

Portanto, é necessário o conhecimento a respeito do resíduo gerado para que se possa gerenciá-lo de maneira que contribua para o desenvolvimento sustentável. A caracterização do resíduo é de fundamental importância para que se identifique as substâncias presentes e que possam ser prejudiciais ao meio ambiente. Com essa informação também é possível saber em qual classe o resíduo de fundição se enquadra enquanto resíduo sólido para as tomadas de decisões sejam acertadas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 10.004/2004 define os parâmetros a serem adotados nos ensaios de lixiviação e solubilização dos resíduos. De acordo com a norma citada, os resíduos podem ser divididos em dois conjuntos: Classe I, que engloba os perigosos, e a classe II, que se subdivide em IIA (não inertes) e IIB (inertes).

Oliveira (2007) diz que existem atritos entre as indústrias de peças fundidas e as organizações responsáveis pela fiscalização e regulamentação, ocasionados pela classificação da areia resíduária de fundição. Para os empresários do setor de fundição, é interessante que a areia de fundição seja classificada como inerte, o que acarretaria em um descarte mais simples e conseqüentemente menores gastos. De acordo com a NBR 10.004/2004, a areia de fundição está alocada no anexo H, como não

perigoso. Porém, a areia de fundição, em duas situações, pode apresentar contaminação, o que a colocaria na classe I dos resíduos industriais, sendo elas: as resinas utilizadas como aglomerante podem apresentar substâncias orgânicas ou inorgânicas, como fenóis e silicato de sódio, e por último a possível presença de metais pesados na areia, oriundos do processo de vazamento do metal fundido na caixa de moldagem (OLIVEIRA, 2007).

Albuquerque (2000), utilizou os parâmetros da norma ABNT NBR 10.004 (edição de 1987) para realizar uma análise sobre areia de fundição, usada na etapa de macharia, que usou como aglomerante a resina fenólica, com intuito de realizar uma pesquisa a respeito da decomposição, por meio de microrganismos, da resina fenólica. A Tabela a seguir apresenta os resultados obtidos com as análises, na qual é possível constatar que areia, nesse caso, se enquadraria como resíduo industrial classe I, em virtude de o acúmulo de fenol na massa total ser maior a 10 mg/kg. Contudo, após a revisão mais recente realizada na norma, o critério da massa bruta não é mais utilizado para se classificar o resíduo. Na atual versão da norma, essa amostra de resíduo analisada estaria inserida na classe IIA, dos resíduos não inertes, devido ao fato de apresentar acúmulo de fenol total superior ao máximo definido no Anexo G da norma para solubilidade em água.

**Tabela 2:** Concentração química do lixiviado, do solubilizado e da massa bruta da areia de fundição

Poluente	Lixiviado (mg/L)		Solubilidade (mg/L)		Massa Bruta (mg/kg)	
	Resultado	Limite Máx.	Resultado	Limite Máx.	Resultado	Limite Máx.
Alumínio	NA	NC	< 0,1	0,2	NA	NC
Arsênio	< 0,05	5,0	< 0,05	0,05	< 0,1	1000
Bário	0,15	100,0	0,16	1,0	NA	NC
Cádmio	< 0,05	0,5	< 0,05	0,05	NA	NC
Chumbo	< 0,05	5,0	< 0,05	0,05	0,5	1000
Cianetos	NA	NC	< 0,1	0,1	< 0,5	1000
Cloretos	NA	NC	161,0	250	NA	NC
Cobre	NA	NC	0,25	1,0	NA	NC
Cromo total	0,13	5,0	0,04	0,05	NA	NC
Cromo VI	NA	NC	NA	NC	0,51	100
Dureza	NA	NC	10,0	500	NA	NC
Fenol	NA	NC	0,9	0,001	33,3	10,0
Ferro	NA	NC	0,42	0,3	NA	NC
Fluoreto	< 0,5	150,0	< 0,5	1,5	NA	NC
Manganês	NA	NC	0,24	0,1	NA	NC
Mercúrio	< 0,01	0,1	< 0,001	0,001	< 0,1	100
Nitrato – N	NA	NC	< 0,1	10	NA	NC
pH	NA	NC	6,9	NC	7,0	> 2 < 12,5
Prata	< 0,05	50,0	< 0,05	0,05	NA	NC
Selênio	< 0,01	1,0	< 0,01	0,01	< 0,1	100
Sódio	NA	NC	21,1	200	NA	NC
Sulfatos	NA	NC	< 5,0	400	NA	NC
Surfactante	NA	NC	< 0,1	0,2	NA	NC
Vanádio	NA	NC	NA	NC	< 2,0	1000
Zinco	NA	NC	0,15	5,0	NA	NC

NA: parâmetro não analisado; NC: parâmetro não consta na Norma 10004.

Fonte: Adaptado de ALBUQUERQUE, 2000 *apud* OLIVEIRA, 2007

## 2.2 Aspectos Ambientais e Legais sobre as Areias de Fundição

A Constituição Federal, por meio do artigo 225, diz que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988). Com isso se deu o início da elaboração de diversas leis, normas, resoluções, portarias e demais formas de legislação relativa ao meio ambiente. Algumas delas englobando a área dos resíduos sólidos, onde se encaixa as areias de fundição.

Com o intuito de se procurar fundamentos para o desenvolvimento de leis próprias para o setor de fundição, cabe ressaltar a atividade do Comitê Brasileiro de Fundição (ABNT/CB-059) em conjunto com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, havendo o propósito a “normalização no setor da fundição, englobando a fundição de ferrosos, aço e não ferrosos, insumos, matérias-primas, resíduos, como também no que diz respeito a terminologias, requisitos, métodos de ensaio e generalidades” (ABNT, s.d).

Na área dos resíduos do processo de fundição, foi instaurada a Comissão de Estudos de Areia de Fundição, que tem como intuito realizar a normalização relacionado aos resíduos de fundição, no que diz respeito ao tratamento, aplicação, reaproveitamento e armazenagem, sendo dois os projetos iniciais relativos às areias residuárias da fundição (ABIFA, 2008b).

Um dos projetos, tendo como intuito a criação de instruções para se reaproveitar as areias de fundição inutilizadas como matéria-prima em massa asfáltica e cobertura diária em aterro sanitário, tornou-se norma em junho do ano 2009, por meio da ABNT NBR 15702:2009 (ABNT, 2009).

O outro projeto, que tem como título “Areia descartada de fundição – Central de processamento, armazenamento e destinação – CPAD”, apresenta o escopo: “estabelecer as diretrizes para a construção e operação de áreas destinadas ao processamento das areias descartadas de fundição” (ABIFA, 2009a). Tal projeto foi aprovado em setembro de 2011 e tornou-se norma vigente no mês seguinte, através da ABNT NBR 15984:2011 (ABNT, 2011).

A nível local, no Estado do Rio de Janeiro em 2013, foi divulgada a síntese do Plano Estadual de Resíduos Sólidos, que se trata de um conjunto de metas, instruções e mecanismos referentes aos elementos institucionais, ambientais, sanitários, econômicos, financeiros, sociais e normativos que devem orientar autoridades públicas, como também o setor de produção, nas atitudes a serem tomadas e no desenvolvimento de projetos e ações referentes ao gerenciamento e ao manejo dos resíduos sólidos no Estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2013).

Em relação aos resíduos industriais, de maneira específica, o plano estadual do Rio de Janeiro define duas diretrizes: erradicar o despejo inadequado dos resíduos industriais e elaborar condições

para enquadrar empresas de pequeno e médio porte aos propósitos do plano. Entre as estratégias adotadas é possível destacar: o fomento aos estudos de novas maneiras de se tratar os resíduos industriais; a melhoria do gerenciamento e controle de resíduos sólidos industriais gerados no Estado; melhoria do órgão ambiental responsável; certificar que as indústrias geradoras desse resíduo criem seus planos de gerenciamento de resíduos sólidos industriais, dentre outras estratégias (RIO DE JANEIRO, 2013).

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), em 2007, estabeleceu a Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/e que trata a respeito dos parâmetros para a administração dos resíduos de areia de fundição. Mediante a esta Decisão de Diretoria, a CETESB impõe que as fundições adaptem os locais de armazenamento das areias de fundição, os procedimentos realizados, bem como também as empresas que vão receber esse resíduo, como também exige a caracterização do resíduo por meio de ensaios laboratoriais para sua classificação e por fim a obtenção da concessão para o reuso do resíduo. Esta decisão foi embasada na Agenda 21, da Conferência das Nações Unidas acerca do Meio Ambiente e Desenvolvimento, nos conceitos e procedimentos da Política Estadual de Resíduos Sólidos do estado de São Paulo (Lei nº 12.300), além dos pedidos das indústrias de fundição através da declaração da CETESB referente a reutilização da areia de fundição, dentre outros fatores (SÃO PAULO, 2007, p. 1).

No decorrer do ano de 2008, foi desenvolvida a Resolução CONSEMA nº 11/2008, no estado de Santa Catarina, na qual define parâmetros de uso da areia descartada do processo de fundição em materiais ferrosos na fabricação de concreto asfáltico, bem como em artigos de concreto que não tenham atribuição estrutural (SANTA CATARINA, 2008, p. 1).

Em seguida, em 2013, Santa Catarina elaborou uma outra resolução, a CONSEMA nº 26/2013, que define os parâmetros a respeito do uso das Areias Residuárias de Fundição, além de ratificar outras medidas (SANTA CATARINA, 2013, p.1). O argumento desta resolução é colaborar no desenvolvimento sustentável, relacionando os elementos que fazem parte da sustentabilidade, tais como: ambiental, social e econômico.

O art. 4 da referida Resolução diz: “a utilização de forma criteriosa da ADF contribuirá para o aumento da vida útil dos aterros sanitários e industriais, bem como para a preservação de recursos naturais” (SANTA CATARINA, 2013, p. 1), sendo o seu propósito (além de complementar a Resolução CONSEMA nº 11/2008), elaborar parâmetros de utilização da areia de fundição descartada em diversas áreas, como em construções civis, na cobertura diária de aterros industriais e sanitários, na confecção de massa asfáltica, em peças de concreto, na fabricação de peças de cerâmica vermelha, dentre outros.

No estado de Minas Gerais, devido à preocupação com o despejo da areia de fundição, foi desenvolvida a Deliberação Normativa COPAM nº 196/2014, que define condições para que a indústria que produz peças fundidas e gera esse resíduo, forneçam esse resíduo para as fábricas de peças de concreto que não exerçam a função estrutural. A deliberação normativa se fundamenta na grande quantidade de peças fundidas produzidas no estado, na expressiva geração do resíduo de fundição em areia que é enviada para despejo em aterro e em outras normas técnicas, leis, além de estudos relativos ao referido resíduo (MINAS GERAIS, 2014, p. 1).

Atualmente, pode-se perceber que a indústrias de fundição tem se interessado mais pelo cumprimento das legislações em vigor, graças também a uma maior concorrência no mercado, o que faz com que o cumprimento das obrigações ambientais seja um marketing a mais ao tentar convencer clientes, fornecedores, investidores e a sociedade como um todo (CASTRO, 2001).

Em âmbito federal, em relação a questão ambiental, podem ser mostradas as seguintes leis e projetos de lei:

Lei Federal nº 6.938/81 (regulamentada pelo decreto 99.274/90): “dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências” (BRASIL, 1981). Essa lei serviu como base para a exigência do EIA/RIMA (instrumentos para avaliação do impacto ambiental) pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (Resolução nº 1/1986), como parte integrante do processo de licenciamento ambiental para determinadas atividades (CONAMA, 2006).

Lei Federal nº 9.605/98: “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências” (BRASIL, 1998). Conhecida como Lei de Crimes Ambientais, através dessa lei, pode-se responsabilizar administrativa, civil e penalmente pessoas físicas ou jurídicas, autoras ou co-autoras de prejuízos causados à qualidade do meio ambiente.

Lei Federal nº 12.305/2010: “esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do Poder Público e aos instrumentos econômicos aplicáveis” (BRASIL, 2010).

Analisando o que foi mostrado, é possível ver, nas leis brasileiras, uma preocupação que vem crescendo gradativamente em relação ao meio ambiente. No entanto, é importante que os esforços nesse sentido se mantenham, para que com isso se possa evoluir mais nas legislações, com gerenciamentos específicos para cada tipo de resíduo (FAGUNDES *et al*, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), redigida sob a Lei Nº 12.305/2010, apresenta um viés bem atualizado e aponta meios relevantes que viabilizam a gestão integrada e o controle de resíduos sólidos. Após vários anos, a PNRS foi aprovada e marcou o ponto de partida de uma grande articulação institucional abrangendo a Federação como um todo (União, Estados e Municípios), como também o setor de produção e a comunidade, na busca por solucionar as questões ambientais, sociais e econômicas provenientes do manejo impróprio dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Entre as diretrizes da lei citada é a preservação da saúde pública e qualidade ambiental, reduzir a geração de resíduos, buscando métodos de produção e consumo que sejam mais sustentáveis, como também disponibilizar dispositivos que viabilizem uma maior reciclagem e reutilização destes resíduos sólidos, dando a eles valores econômicos e sociais, que acarretam em trabalho e renda, e por fim um descarte ambientalmente correto a estes resíduos (BRASIL, 2010).

Uma das principais características da PNRS é o estabelecimento da culpabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, sendo eles: os que fabricam, os que importam, os que distribuem, os que comercializam, os cidadãos e o responsáveis pela limpeza urbana pública e de manuseio dos resíduos sólidos; compreende também a logística reversa, a qual tem associação com os fabricantes.

Realizando uma análise em relação às determinações presentes na PNRS, chega-se à conclusão que sua aplicação se trata de um grande obstáculo no Brasil, devido às diferentes realidades regionais e também entre os municípios brasileiros. A aplicação da PNRS pode ser impraticável para algumas cidades de pequeno porte e com poucos recursos. É possível destacar que existem exemplos de municípios com recursos suficientes, mas que não apresentam boa administração dos resíduos sólidos. Como também há exemplos de cidades que possuem poucos recursos financeiros, mas que tem um bom desempenho na administração dos resíduos sólidos (GODOY, 2013).

Dentre os instrumentos da PNRS, podemos citar o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Por meio desses sistemas, os Estados e Municípios conseguem disponibilizar as informações a respeito dos resíduos sólidos e saneamento de forma rápida e sistematizada, o que permite o monitoramento das melhorias alcançadas.

Por fim, o maior obstáculo na implementação da Lei Nº 12.305/2010 é o fato de que grande parte da sociedade (de todas as categorias e em todo território nacional) ainda não demonstra uma compreensão da importância dessa lei. A preocupação em relação ao meio ambiente ainda é superficial e muita das vezes focada somente nos espaços ambientais mais reconhecidos, tais como: floresta amazônica, poluição do ar urbano e qualidade de água (GODOY, 2013).

### **2.3 Descarte Da Areia de Fundição e Problemas Ambientais Gerados**

É possível dizer que não há nenhuma operação industrial que não gere degradação ambiental, seja em pequena, média ou grande proporção. Sendo pela retirada de recursos naturais, ou seja, pela geração de resíduos formados durante as etapas de produção. O setor siderúrgico é visto como um método produtivo que causa um impacto significativo, pelos dois motivos mencionados acima, a

extração de recursos naturais e a geração de resíduos provenientes das etapas do processo, como também pelas emissões de gases atmosféricos (PENKAITIS, 2012).

A geração de resíduos sólidos é o principal fator ambiental do setor de fundição, visto que o Brasil é um dos maiores fabricantes de fundidos do mundo. Avalia-se que, para sustentar a produção nacional, são gerados em torno de 2 milhões de toneladas de areia de fundição residuária anualmente, o que representa mais de 75% do montante total de resíduos provenientes da fundição (ABIFA, 2006).

A destinação errada deste resíduo pode causar impactos ambientais em solos e águas, tanto superficiais quanto subterrâneas. Essa contaminação acontece no momento em que as substâncias tóxicas que podem estar presentes na areia entram em contato com o solo ou a água, e lixiviam os contaminantes em teores superiores ao que é considerado aceitável pelas entidades ambientais. No estado de São Paulo, a última verificação de áreas contaminadas, feito pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), apresenta dois pontos de contaminação que tem relação com as indústrias de fundição, devido especialmente a armazenagem, descarte e disposição de constituintes não revelados. Nesses pontos o solo, subsolo e água subterrâneas apresentaram contaminação. Com isso, pode-se imaginar que existem diversos outros espaços que podem se encontrar com o mesmo problema, mas que não foram constatados pela CETESB por serem clandestinos (CETESB, 2011).

Portanto, a maior adversidade ambiental para o setor de fundição são as areias de moldagem, originadas por meio dos excedentes na etapa de desmoldagem das peças, por este ser um resíduo definido como não inerte e, principalmente, pela grande quantidade que necessita ser despejada em aterros. A problemática desse resíduo tem relação com a exploração de recursos naturais (areia, pó de carvão, bentonita) e a constituição de aterros para receber esse resíduo, o que pode acarretar o desmatamento de áreas preservadas e de proteção. Com a criação de legislações ambientais mais rigorosas nos últimos tempos, as indústrias de fundição têm de destinar os resíduos para aterros controlados, que em grande parte das vezes, está a uma distância considerável, o que acarreta em um aumento dos custos, refletindo no preço das peças fundidas (CHEGATTI, 2004).

De acordo com Wright (2001) apud Chegatti (2004), em torno de 90% das areias de fundição são depositadas em aterros, classificadas como resíduos não perigosos. Porém, questões ambientais e econômicas têm evidenciado que fazer com que o resíduo seja um atrativo da fundição, pode ser uma forma eficaz de se reaproveitá-lo. Em um dos estudos complementares, de Winkler & Bol'shakov (2000) apud Chegatti (2004), foi mostrado que é possível as areias de fundição serem reutilizadas de maneira que não acarretem em danos ao ambiente e em perigos à saúde dos humanos.

A principal razão para que os aterros industriais ainda sejam largamente utilizados, é basicamente devido a legislação, tendo em vista que, de acordo com a ABIFA (2008a), a destinação deste resíduo a aterros trata-se da única alternativa vigente no país de maneira legal.

Levando em consideração as questões ambientais, os aterros acarretam em uma concentração de passivos, o que provoca a mistura do resíduo das areias de fundição com diversos outros resíduos industriais, que muitas das vezes apresenta maior capacidade infectante, o que pode gerar problemas para as indústrias de fundição, podendo estas serem responsabilizadas pelo impacto ambiental que possa vir a acontecer (ABIFA, 2008a).

Bonet (2002) diz que para minorar os gastos com o despejo da areia de fundição residuária em aterros, bem como os seus impactos ambientais, as empresas do setor de fundição deveriam empregar medidas que ajudassem a aplicação em outros setores, como por exemplo, utilizar o resíduo nos concretos de baixo custo e nas massas asfálticas, substituindo em partes o agregado miúdo na composição. Outra maneira que pode ser considerada é a regeneração dessa areia, por meio de tratamentos térmicos e/ou mecânicos, que visa dar a areia as características e propriedades de uma areia, o que possibilitaria a mesma ser inserida novamente no processo, de modo que não interfira na qualidade dos moldes e conseqüentemente das peças fabricadas.

#### **2.4 Aspectos Tecnológicos no Descarte das Areias de Fundição**

Dentre as opções que temos de manejo para a areia residuária do processo de fundição, estão: Recuperação, Regeneração ou Reutilização.

- **Recuperação:** Trata-se de se reinserir ao início do processo de fundição essa areia que já tinha sido utilizada e que seria descartada, nas fundições esse método é chamado de recirculação. A técnica consiste em realizar uma limpeza na areia depois de feita a desmoldagem, removendo as sobras metálicas. Posteriormente, uma porção da areia usada é removida e em seu lugar é acrescentada uma areia nova na mistura, na mesma proporção, com o intuito de se preservar as características dos moldes. Essa quantia pode variar de acordo com as propriedades que se necessita no processo na qual a areia será utilizada (ABIFA 1999 apud FAGUNDES et al, 2009).

- **Reutilização:** Baseia-se em utilizar a areia a ser descartada em outros processos sem realizar nenhum tipo de tratamento, ou seja, do mesmo modo que saiu da fundição, no máximo uma limpeza dos resíduos metálicos que possam estar presentes. Nesse contexto, a reutilização pode ser realizada em confecção de concretos, no setor de construção civil de maneira geral, na cobertura de aterros, na composição de solos especiais (ABIFA, 1999 apud FAGUNDES et al, 2009).

- **Regeneração:** Consiste em remover os materiais que se aderiram a areia depois desta receber o metal líquido, com o intuito de limpar a superfície dos grãos dessa areia e proporcioná-los as propriedades que sejam mais similares possível das areias novas, o que permitiria a sua reinserção no início do processo de fundição. Dentre os métodos de regeneração mais utilizados, pode-se citar os

tratamentos mecânicos, térmicos e úmidos, ou até mesmo a combinação de mais de um tipo (ABIFA, 1999 apud FAGUNDES et al, 2009).

O tratamento mecânico trata-se de aplicar uma movimentação contínua na areia, o que acarreta o atrito entre os grãos. Esse método é tido como o mais barato e com boa eficácia, todavia, devido ao movimento contínuo, é gerado uma grande quantidade de poeira. No método do processo térmico, altas temperaturas são aplicadas na areia a fim de degradá-la e volatilizar os compostos orgânicos que possam estar presentes na composição, contudo, trata-se de uma técnica com alta capacidade poluente, visto que ocorre a emissão de gases de maneira não controlada, o que causa prejuízos ambientais. Complementarmente, é preciso fazer a remoção das impurezas que podem ser encontradas, como o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Hematita - Óxido de Ferro III) e o  $\text{Na}_2\text{O}_3$  (Óxido de Sódio), a separação magnética, como também processos de trituração (BRONDINO; SILVA; BRONDINO, 2014).

Por último, os tratamentos úmidos necessitam também de usar métodos mecânicos, associados a elutriação, decantação, secagem e resfriamento. Para se realizar esse processo, o resíduo deve ter em sua composição compostos hidrofílicos, tal como a bentonita, ou compostos que sejam solúveis em água. A demanda de água nesse processo gira em torno de oito toneladas de água para uma toneladas de areia de fundição, o que acarreta em uma grande quantidade de lodo, fazendo com que seja necessário a realização de etapas posteriores para a retirada do lodo, fazendo com que esse método úmido seja caro (BRONDINO; SILVA; BRONDINO, 2014).

#### **2.4.1 Estudos Realizados com Areia de Fundição**

Visto o grande volume de resíduo de areia de fundição formado, de se ter custos elevados para destinação a aterros e da, cada vez maior, consciência ambiental muitas pesquisas vêm sendo feitas no sentido de se reaproveitar essa areia descartada do processo de fundição, podendo ser na própria fundição, como também em outras áreas da economia.

Mazariegos (2008) pesquisou a possibilidade de se utilizar os resíduos de fundição em moldes de areia aglomerados com argila, para emprego na área de construção civil. No estudo foi verificada a capacidade do resíduo se estabilizar em matrizes de cimento Portland solidificadas, com a inclusão de argila, bentonita sódica e/ou sílica ativa, com o intuito de se aprimorar a mistura. Foi realizado o ensaio de solubilização para verificar a estabilidade da mistura, em que as matrizes de cimento foram colocadas em contato com água destilada. Já as propriedades mecânicas dos artefatos confeccionados foram verificadas por meio dos ensaios de compressão, absorção de água e permeabilidade do ar. O autor chegou à conclusão de que a bentonita sódica e a sílica ativa melhoraram a estabilização dos metais Alumínio, Ferro e Cromo nas matrizes de cimento. Em relação às propriedades mecânicas,

físicas e químicas, as formações que apresentaram melhores resultados foram as dos tijolos maciços, com objetivo de utilização em alvenarias. Os tijolos, após confeccionados, foram submetidos aos ensaios de compressão, absorção de água e solubilização, os quais demonstraram resultados viáveis, o que mostrou a possibilidade de utilizar os tijolos nas obras de alvenaria.

Andrade; Carnin; Pinto (2018), realizaram um estudo com o objetivo de analisar a capacidade do seu uso na confecção de concretos de cimento Portland, com diferentes proporções de utilização (10%, 20% e 30%) em substituição ao agregado miúdo utilizado costumeiramente (areia comum). Foram feitos ensaios de lixiviação e ensaios mecânicos (resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade). Os resultados mostraram que houve uma perda de resistência mecânica dos corpos de prova conforme era aumentado a porcentagem do resíduo na mistura, porém essa perda, quando levado em conta o ganho ambiental ao se reaproveitar o resíduo, pode ser considerada pequena. Os autores definiram que a substituição do agregado miúdo por resíduo de areia de fundição pode ocorrer até um teor máximo de 30%, desde que a relação água/cimento seja de 0,50.

Em outra pesquisa com o intuito de se reaproveitar o resíduo de fundição na composição do concreto, Kaur; Siddique; Rajor (2012) averiguaram a possibilidade de se adicionar a areia de fundição, tratada com fungos, neste material de construção. Através dos resultados obtidos foi possível observar a influência da utilização do fungo (*Aspergillus spp.*) na resistência à compressão, absorção de água e na porosidade do material. A resistência à compressão apresentou um aumento de 15,6% no concreto com 28 dias de cura e confeccionado com 20% de areia de fundição contendo adição do fungo. Nestas mesmas condições a absorção de água do corpo de prova foi 68,8% menor, assim como a porosidade que teve uma diminuição de 45,9%. Por meio do ensaio de difração de raios-x realizado, foi verificado que o *Aspergillus spp.* melhora a capacidade de uma reação apropriada do cimento com a areia de fundição.

No estudo realizado por Costa *et al.* (s.d.) foi avaliado o desempenho de composições asfálticas, confeccionados com resíduo de fundição em areia na mistura no lugar do agregado miúdo utilizado costumeiramente (areia lavada). A caracterização da mistura foi realizada através de um método experimental, com diferentes porcentagens de resíduo na composição. Os ensaios realizados foram os seguintes: Dosagem Marshall, resistência à tração por compressão diametral, módulo de fadiga e resiliência a compressão diametral com a tensão controlada. Os resultados dos ensaios apresentaram valores um pouco diferentes quando comparado com as misturas asfálticas convencionais, porém são aceitáveis no que diz respeito às propriedades mecânicas, ou seja, é possível, do ponto de vista técnico, usar desse resíduo na composição de misturas asfálticas para pavimentação.

Em uma pesquisa relacionada ao reaproveitamento do resíduo de fundição como material de base e sub-base em estradas com baixo fluxo de veículos em área urbana no município de Sertãozinho/SP, Klinsky e Fabbri (2009), realizaram o método da estabilização granulométrica para se conseguir as misturas em diferentes proporções, posteriormente foram feitos os ensaios de caracterização, ensaios mecânicos e ambientais. Essa região foi escolhida pois além de ser uma geradora do resíduo estudado, há uma escassez de solos com características arenosas, que são utilizados para obras de estradas. Após os ensaios realizados, os resultados obtidos apresentaram a viabilidade de se usar os solos argilosos com 60% de resíduo de areia de fundição em sua composição como elemento de base e sub-base para estradas de tráfego leve, e complementarmente, com baixo risco de poluição ambiental.

Na mesma linha de pesquisa, Guney; Aydilek; Demirkan (2005) realizaram ensaios laboratoriais para avaliar misturas feitas com solo e resíduo de areia de fundição corrigidas com cal e cimento, com o intuito de se avaliar a potencialidade de se utilizar essa mistura como material de base em rodovias. As preparações foram feitas em diferentes teores de umidade e com esforços de compactação variados e submetidas a testes de compressão, índice de suporte califórnia (teste de penetração que avalia a resistência do subleito de estradas e pavimentações) e condutividade hidráulica. A adequação ambiental das preparações foi verificada por meio de uma análise do efluente coletado durante a realização dos testes de condutividade hidráulica. Por fim, os resultados dos ensaios mostraram que a resistência é dependente do tempo de cura, força utilizada na compactação, quantidade de cal/cimento utilizado e teor de umidade na mistura. Foi mostrado também que a mistura feita com areia de fundição, em condições típicas de inverno, apresentou resistência melhor do que os materiais utilizados costumeiramente como base de rodovias. Em relação à questão ambiental, os testes de lixiviação mostraram que essas misturas, quanto mais demorarem a entrar em contato com água descarregada diretamente no ambiente, como por exemplo a drenagem da massa asfáltica, a qualidade dessa água não será comprometida.

Gomes; Moraes; Boff (2007), pesquisaram a respeito de se aplicar o resíduo de fundição em moldes de areia, usada especificamente na confecção de ferro fundido, para cobrir, como camada intermediária, aterros sanitários que recebem resíduos sólidos domésticos. Para fins de comparação, foram também verificados outros dois materiais, solo proveniente do município de Portão (RS) e resíduo de construção civil (RCC), podendo assim analisar qual destes três apresentou melhor capacidade de cobertura dos aterros. Foi identificado que, como cobertura intermediária, o RCC obteve os resultados mais satisfatórios. O resíduo de fundição em areia demonstrou boa capacidade de ser utilizado como uma cobertura final nesse tipo de aterro, assim como o solo analisado.

Severo *et al.* (2018) desempenhou uma pesquisa a fim de se analisar a capacidade de um método de regeneração térmica para areia de fundição com a presença de fenóis, que atue de forma complementar aos processos de regeneração mecânica, visto que estes não possuem a capacidade de limpar de maneira completa os grãos do resíduo e, conseqüentemente, fazer com que voltem ao início do processo de fundição. Para execução desta etapa complementar ao processo mecânico, foi desenvolvido e fabricado um reator de leito fluidizado, em escala laboratorial. Com a combinação desses dois processos, mecânico e térmico, foi possível reduzir o tempo e temperatura necessária para a remoção parcial ou enfraquecimento da resina fenólica presente na areia residuária. Com isso, a regeneração térmica, utilizando o método do leito fluidizado, obteve resultados positivos em relação à capacidade de regeneração.

## **2.5 Cenário da Reutilização da Areia de Fundição no Mundo**

### **2.5.1 Estados Unidos**

De acordo com a US Environmental Protection Agency (U.S. EPA), existem diferentes razões para que o teor de reaproveitamento da areia de fundição seja pequeno. Tais motivos influenciam a todos os envolvidos e que tem a capacidade de executar uma função importante no bom reaproveitamento do resíduo. Os estados americanos apontam que a elaboração de normas e legislações a qual assegurem a preservação ambiental e, conjuntamente, incentive o reaproveitamento do resíduo pode se apresentar como uma tarefa bastante árdua. A não existência de um procedimento definido para se avaliar e autorizar a reutilização pode ser considerado como um grande empecilho nesse ponto (SILVA, 2010).

Visando incentivar o reaproveitamento da areia de fundição, foi feito em 2002, pela U.S.EPA, um estudo sobre os métodos de reuso já existentes; a gestão de estudos de caso para verificar a aplicação do resíduo em condições reais; gerenciamento de ensaios de caracterização e sugestão de condutas que incentivem o reuso (EPA, 2002).

Na etapa do estudo de caso, foram escolhidos quatro projetos, os quais demonstram a variedade das opções de reuso da areia de fundição, bem como a diferença de como isso é feito de estado para estado. Nos quatro estados analisados, existem diferentes legislações acerca da areia de fundição, no que diz respeito ao teor permitido de substâncias contaminantes e a maneira que o resíduo pode ser reutilizado (EPA, 2002).

No estado de Ohio existe uma empresa que reaproveita a areia de fundição há mais de 20 anos, através de diferentes misturas de solo que são comercializados em lojas do ramo de jardinagem em

Ohio. A principal fornecedora do resíduo de areia trata-se de uma fundição presente no mesmo estado, com um fornecimento que atingiu a marca de 240.000 toneladas no ano de 2001. Em negociação com o governo do estado, foi acordado que a fundição tem de realizar ensaios de lixiviação da areia de maneira anual, enquanto a empresa que recebe essa areia faz os ensaios de lixiviação e de metais totais em períodos trimestrais nos solos que contenham a areia de fundição na composição. A empresa que reutiliza o resíduo deve também encaminhar um relatório anual à EPA de Ohio, apresentando os resultados dos ensaios e os possíveis problemas que podem acontecer no reuso do material. O ponto que dificulta uma maior proporção de reaproveitamento é o alto custo do transporte (EPA, 2002).

No Wisconsin há uma fornecedora da areia de fundição residuária, que é aplicada em aterros. No último projeto, a quantia usada de resíduo chegou a 80 mil toneladas. O reaproveitamento consiste em uma mistura com argila bentonítica, o que faz com que seja relativamente impermeável. O aterro necessita de uma cobertura de argila apenas, não sendo necessário qualquer outra camada. O ensaio de lixiviação do aterro é realizado semestralmente (EPA, 2002).

Em Michigan, a *Resource Recovery Corporation* (RRC) é a responsável pelos estudos do reaproveitamento da areia de fundição coletada das fundições conveniadas. Por meio da consolidação da areia, a RRC consegue viabilizar um resíduo que seja estável e de confiança para os destinatários finais. A Corporação, com o resíduo, gera um agregado miúdo para utilização na produção de asfalto. No ano de 2001, a RRC destinou mais de 31.000 toneladas desse agregado produzido com areia de fundição para a Asphalt Paving Inc, a qual utiliza desse agregado desde o ano de 1997 e já ultrapassou a marca de 125 mil toneladas reaproveitadas desde o início da parceria até dezembro de 2001 (EPA, 2002).

No ano de 2000, o estado americano da Virgínia aprovou a reutilização da areia de fundição. Desde então, uma fundição do estado mencionado realizou dois projetos de reuso do resíduo como sub-base para pavimentação de estacionamentos, de um montante de mais 21 mil toneladas de areia. O descarte desta fundição gira entre 5 e 6 mil toneladas de resíduo anual, portanto os projetos citados têm utilizado por completo o que seria descartado pela empresa de fundição (EPA, 2002).

Em todos os estudos mencionados acima, a fundição necessita de apresentar o projeto de reutilização ao estado, que abarca a utilização, localização e a quantia de resíduo necessária. Com isso o estado fiscaliza o local utilizado com o intuito de assegurar a execução de todos os pontos essenciais. O estado também tem a autonomia de realizar essa fiscalização em qualquer momento, seja antes, no momento ou até mesmo depois da execução do projeto.

## 2.5.2 Europa

No continente europeu o reaproveitamento dos resíduos de fundição teve início a pouco tempo, porém é tratado como prioridade pelas fundições pela questão ambiental e econômica. O setor de fundição europeu se preocupa com a possibilidade de ter que sair da Europa, para países onde as regulamentações ambientais sejam mais leves, o que acarretaria em um prejuízo ambiental a nível global ainda maior (SILVA, 2010). Nos últimos anos os países europeus, principalmente os que tem pouco espaço delimitado para aterros, subiram os impostos em cima do despejo de resíduos em aterros como forma de forçar as indústrias a terem processos mais eficientes, que gerem menos resíduos, bem como fomentar a reutilização (SILVA, 2007).

Como ocorre nos projetos de reaproveitamento nos Estados Unidos, na Europa a utilização do resíduo de fundição em areia como material em diferentes processos é dependente dos tratados das indústrias do setor de fundição com a empresas que têm interesse no reuso do resíduo (SILVA, 2010).

Silva (2007) realizou um trabalho com o objetivo de se investigar sobre a reutilização da areia de fundição residuária no mundo. Os dados obtidos por meio do estudo, em alguns países europeus, estão listados abaixo.

- Bélgica

Na Bélgica, no ano de 1993, foi formalizado uma parceria entre as fundições do país, para se avaliar as características da areia de fundição de acordo com os limites e métodos de análises químicas determinados pelo OVAM (Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij), que se trata de uma agência pública de resíduos da Bélgica.

Nos dias atuais é permitido a utilização da areia da fundição apenas no ramo da construção civil, mais especificamente na confecção de tijolos, cimento e pavimentos asfálticos. Para se aplicar o resíduo nesses casos, é necessário que a empresa tenha uma autorização para o reaproveitamento concedido pelo OVAM, em que deve constar a origem do resíduo, os resultados dos ensaios químicos realizados e as características técnicas do resíduo no reuso que se deseja fazer. Caso todos os requisitos sejam atendidos, a autorização é concedida por um prazo de 5 anos.

- Dinamarca

A partir do ano de 2001, a Dinamarca regulamentou a utilização de resíduos sólidos como elemento de enchimento e na confecção de rodovias. A Agência de Proteção Ambiental Dinamarquesa define os métodos da análise de risco de contaminação da água que servem também como parâmetros dos ensaios de lixiviação.

A grande quantia descartada pelas indústrias de fundição na Dinamarca, e conseqüentemente o grande volume disposto em aterros fez com que o país estipulasse o objetivo de reutilizar 80% dos resíduos provenientes das fundições até o ano de 2008. Com isso o país investiu em estudos para verificar outras alternativas de reuso, com enfoque nas areias de fundição.

- Finlândia

A Finlândia elaborou um projeto para verificar a aplicabilidade da areia de fundição em compostagens, substituindo a areia comum que é habitualmente utilizada. Os testes utilizaram as areias de fundição em um teor de 20% dos materiais utilizados para realização da mistura da compostagem. Os resultados apontaram que, com esse teor, a presença de metais pesados na areia de fundição foi irrelevante, e além disso, a germinação das plantas em que a compostagem continha areia de fundição apresentaram comportamentos normais em relação às plantas que não utilizaram compostagem com areia de fundição na composição. Com isso, o estudo conseguiu elaborar parâmetros ambientais e técnicos para se reutilizar as areias de fundição nos métodos de compostagem na Finlândia.

- França

Na França, o passo inicial para reutilizar as areias de fundição foi dado pelo Ministério de Meio Ambiente da França (*Ministère de l' Environnement*), que agrupou os dados e informações que foram usados como suporte na elaboração das normas. Por meio dos testes de lixiviação realizados, foram observados os teores máximos dos componentes, os quais foram relacionados aos limites de qualidade da água e do solo francês.

O Departamento de Estradas da França, com intuito de fomentar a questão da sustentabilidade por meio da utilização do resíduo de fundição no lugar dos componentes tradicionais, promoveu um projeto de reaproveitamento que apresenta as determinações técnicas e ambientais para viabilizar a aplicação destes materiais na confecção de rodovias.

Atualmente, a França tem utilizado os resíduos provenientes do setor de fundição em obras de asfalto, necessitando apenas de parcerias entre as empresas que fabricam o asfalto com as fundições geradoras do resíduo, dado que as normas francesas para este ramo não impõem muitas limitações.

### **3. METODOLOGIA**

A estratégia de pesquisa utilizada para o desenvolvimento deste trabalho baseia-se em uma metodologia exploratória descritiva, com revisão bibliográfica por meio de pesquisa de artigos científicos na base de dados Google Acadêmico e Periódicos Capes, com um recorte temporal de 10

anos. Foram identificados 52 artigos relacionados ao tema, onde 26 artigos foram considerados devido à afinidade com a pesquisa. Nesta etapa foram utilizados como operadores booleanos os termos: “Areia de fundição”; “descarte”; “reaproveitamento”; “legislação”; “regulamentação”. Além das publicações técnicas e acadêmicas relacionadas ao tema, foram feitos contatos por meio de ligações e e-mails com representantes de instituições públicas, empresas, secretarias municipais de meio ambiente e pessoas que atuam diretamente nas atividades relacionadas ao setor de fundição, para se conhecer os procedimentos de descarte (locais de despejo e transporte) e reaproveitamento das areias de fundição. Para análise foram definidos os municípios de Aperibé, Itaperuna, Santo Antônio de Pádua, Itaocara e Campos dos Goytacazes, onde foram considerados um total de dez empresas de fundição.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A produção de peças fundidas no Estado do Rio de Janeiro, no ano de 2020, foi de mais de 180 mil toneladas, sendo um volume maior do que o dobro das regiões Norte e Nordeste somadas, mesmo com a crise que o país está passando nos últimos anos (ABIFA, 2021). Por se tratar de um setor de grande produção anual no cenário nacional e, conseqüentemente uma grande geradora de resíduos sólidos, as fundições necessitam realizar o descarte ou aplicar técnicas de reaproveitamento de seus resíduos, sendo a areia de fundição o principal deles, de maneira adequada e que não prejudique especialmente o solo e as águas.

##### **4.1 Procedimentos Adotados em Fundições Locais**

Através de um levantamento do Noroeste Fluminense, foram localizadas dez empresas desse setor na região, sendo sete delas no município de Aperibé, uma em Itaperuna, uma em Itaocara e uma em Santo Antônio de Pádua. Outras três fundições de Campos dos Goytacazes, no Norte Fluminense, também foram consideradas.

Em Campos dos Goytacazes, no Norte Fluminense, duas das empresas localizadas encerraram as suas atividades na área de produção de peças fundidas devido à queda das demandas durante os períodos de crise econômica no Brasil, enquanto a terceira se recusou a fornecer respostas sobre as questões levantadas.

No contato realizado com a fundição da cidade de Itaperuna, foi informado por meio de seus representantes que as informações solicitadas só poderiam ser fornecidas com o proprietário, porém não foi conseguido contato com o mesmo. Em relação a empresa de Itaocara, não foi conseguido contato através de nenhum meio, o que leva a acreditar que empresa tenha encerrado a produção.

Enquanto na fundição de Santo Antônio de Pádua, foi informado que o responsável por essa parte na empresa não poderia atender as ligações.

Em Aperibé, das sete empresas que foram localizadas, em seis delas não foi conseguido o retorno esperado. Em algumas os telefones não funcionam, enquanto em outras as questões sobre o descarte do resíduo não foram respondidas. Uma dessas fundições solicitou que as questões fossem enviadas via e-mail, para que o responsável respondesse, porém os e-mails enviados não foram respondidos.

Apenas uma fundição do município de Aperibé retornou os contatos realizados. De acordo com o relato do representante da empresa, a cada fundição que é realizada, 99% da areia é regenerada para ser realocada no início do processo. Essa regeneração se dá por meio de um separador, que remove os fragmentos de metal que podem estar presentes, sendo estes são novamente fundidos na próxima produção. Posteriormente é utilizado um misturador, onde é adicionado uma pequena quantidade de areia nova a aquela que já foi queimada, para que recupere algumas propriedades necessárias. Segundo eles, a troca total das areias utilizadas na moldagem é realizada em média a cada sete anos, sendo que a areia descartada é recolhida pela secretaria de ambiente do município, já estando documentada, e por meio da própria secretaria é encaminhada para o local de despejo, porém, não foi informado qual seria esse local de destinação.

## **4.2 Análise das Legislações**

A respeito das legislações vigentes, em nível federal, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, inscrita sob a Lei N° 12.305/2010, é a de maior visualização no que diz respeito ao gerenciamento dos resíduos sólidos, e também dá embasamento para a criação de leis estaduais a respeito desses materiais.

Em nível estadual, são poucos os Estados que tem uma legislação que trate de maneira específica à respeito do resíduo de fundição, o estado do Rio de Janeiro, por exemplo, possui apenas um Plano Estadual dos Resíduos Sólidos, desenvolvido no ano de 2013, em que apresenta diretrizes e estratégias para minimizar o descarte inadequado dos resíduos sólidos como um todo.

Os Estados de São Paulo, Santa Catarina e Minas Gerais, apresentam normatizações que tratam sobre as areias de fundição de maneira específica. Em São Paulo, a Decisão de Diretoria n° 152/2207/C determina que as empresas geradoras do resíduo, assim como a empresa que irá recebê-lo, adequem os locais de armazenamento, e obriga também a realização dos ensaios de caracterização das amostras para obtenção da licença de reuso. Enquanto Minas Gerais e Santa Catarina definiram diretrizes para o reaproveitamento do resíduo em fábricas de peças em concreto e massas asfálticas respectivamente.

### 4.3 Gestão dos Resíduos Sólidos nos Municípios Abordados

No portal do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) foi localizado um levantamento consolidado sobre a existência de planos de resíduos sólidos municipais. Esse levantamento demonstra que o Estado do Rio de Janeiro está abaixo da média nacional em relação à porcentagem de municípios que possuem o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que é de 43,5% e 54,8%, respectivamente (SINIR, 2017). A Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE) traz um Atlas da destinação final de resíduos sólidos, atualizado em março de 2021, que demonstra, os locais em que cada município do Estado do Rio de Janeiro despeja seus resíduos sólidos (ABETRE, 2021).

A seguir, a tabela 3 mostra se os municípios de Aperibé, Itaperuna, Itaocara, Santo Antônio de Pádua e Campos dos Goytacazes possuem o PMGIRS, bem como o local de destinação dos resíduos sólidos.

**Tabela 3:** Planos Municipais e Locais de Destinação dos Resíduos Sólidos

<b>Cidades</b>	<b>PMGIRS</b>	<b>Destinação</b>
<u>Aperibé</u>	Não possui	Lixão em outro município
Itaperuna	Possui	Aterro Sanitário Municipal em outro município
Itaocara	Não possui	Aterro Sanitário Municipal em outro município
Santo Antônio de Pádua	Não Possui	Lixão nele próprio
Campos dos Goytacazes	Em desenvolvimento	Aterro Sanitário Municipal nele próprio

Fonte: ABETRE, 2021.

Segundo verificado nas pesquisas, Campos dos Goytacazes está enquadrado na PNRS em relação aos resíduos sólidos urbanos, já que a cidade conta com o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) no distrito de Conselheiro Josino, em funcionamento desde 2011. Apesar disso, a cidade ainda não conta com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que atualmente está em fase de elaboração por uma equipe técnica do próprio município, visto que é uma condição estabelecida pela PNRS para que os recursos federais destinados à gestão de resíduos sejam repassados a Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes (PMCG). No ano de 2011 foi sancionada a Lei 8.232 (PMCG, 2011), a qual implementou a Política Municipal dos Resíduos Sólidos e mesmo estando como prioridade nos objetivos da lei, a Prefeitura Municipal justifica que, por conta da crise econômica, a elaboração do PMGIRS foi iniciada apenas em 2018 (PMCG, 2018b).

A Prefeitura Municipal de Aperibé (PMA), divulgou no ano de 2015 o Plano Municipal de Saneamento Básico de Aperibé, que faz parte de um projeto em conjunto das prefeituras municipais de Aperibé, Cambuci, Laje do Muriaé e São José de Ubá. Este plano trata à respeito dos serviços de abastecimento de água, esgotos sanitários e drenagem urbana, e explana que os serviços em relação aos resíduos sólidos, no município, são parte de um planejamento específico que será elaborado individualmente devido às suas singularidades (PMA, 2015). Porém, até o momento não foi elaborado o planejamento específico para o tratamento desses resíduos.

No Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), divulgado pela Prefeitura Municipal de Itaocara (PMI) em 2013, os resíduos sólidos são um dos vértices, juntamente com abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana. O Art. 7º, inciso III do PMSB (PMI, 2013), afirma que os resíduos sólidos industriais não poderão ser destinados ao aterro sanitário municipal. No mesmo artigo, o parágrafo 2º, determina que o “acondicionamento, coleta, transporte e disposição final são de responsabilidade do gerador”. Está especificado no PMSB que os resíduos que não são de responsabilidade do município só poderão ser depositados em locais antecipadamente aprovados pela municipalidade, sendo permitido também a reutilização e reciclagem, desde que de maneira apropriada (PMI, 2013).

A Prefeitura Municipal de Santo Antônio de Pádua (PMSAP), realizou uma revisão no seu PMSB no ano de 2019, em que os resíduos sólidos são apontados como uma das diretrizes. A revisão apontou as falhas encontradas no PMSB, pois o município não exige das empresas geradoras um Plano Gerencial dos Resíduos Sólidos Industriais, visto que a destinação final destes resíduos é de responsabilidade do gerador, porém o município é corresponsável na gestão de todo e qualquer resíduo gerado em seus domínios.

Segundo os dados da ABETRE apresentados na tabela 3, o município de Itaperuna possui o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, porém o mesmo não foi localizado nos portais oficiais. O Plano Municipal de Saneamento Básico da cidade também não foi localizado. Desde o ano de 2015, o município destina os resíduos para o Centro de Tratamento de Resíduos de Conselheiro Josino, em Campos. A partir de 2016 passou a ser utilizado também o lixão Jabuticabal, o qual era administrado pela prefeitura, porém foi passado à iniciativa privada à partir de 2017 (RIBEIRO, 2019).

Ao redor do mundo foi possível identificar diversos exemplos de países com regulamentações à respeito da reutilização das areias de fundição. Nos estados norte-americanos de Michigan e Virgínia, o resíduo é utilizado em misturas asfálticas. Em Ohio é reaproveitado em misturas de solo para jardinagem, enquanto em Wisconsin é regulamentado o reuso para cobertura de aterros. No continente

européu, a Bélgica utiliza para o setor de construção civil, a França regulamentou a utilização em obras asfálticas, enquanto Finlândia, assim como em Ohio, aplica na mistura de compostagem para plantas.

## 5. CONCLUSÃO

Para as empresas de fundição, geradoras do resíduo, é vantajoso que as areias estejam enquadradas na classe de resíduos não perigosos, conforme a NBR 10.004/2004. Nesse sentido, isso facilita o descarte do material inutilizado e reduz os custos. Todavia, as areias podem apresentar substâncias contaminantes que fariam com que mudasse para a classe I dos resíduos industriais, conseqüentemente, o custo do despejo aumenta assim como as restrições, não sendo interessante para as empresas geradoras.

A sanção da Lei Nº 12.305/2010, denominada como Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), irá completar 11 anos, porém a falta de administradores públicos com conhecimento técnico e os poucos recursos financeiros disponíveis, especialmente nos municípios pequenos, faz com que a quantidade de estados e cidades aplicando as determinações da Lei ainda sejam muito pequenas. O não cumprimento em relação a PNRS pode levar a impactos ambientais que tem como consequência os prejuízos a saúde pública.

A normatização existente no Estado do Rio de Janeiro trata a respeito dos resíduos sólidos como um todo, o que não é suficiente para garantir o descarte adequado, visto que cada resíduo sólido tem suas características e, portanto, necessita de descartes diferentes. Já no estado de São Paulo cujo a legislação é específica para a areia de fundição, o resíduo não irá causar grandes prejuízos ambientais, pois com a realização dos ensaios de caracterização, ele será classificado de maneira correta, levando a um reuso e/ou destinação adequada, caso essas determinações sejam seguidas. Nos estados catarinense e mineiro, as legislações autorizam a reutilização da areia de fundição em outros processos, tais como massa asfáltica e concreto sem função estrutural, com isso, a quantidade de resíduo que deve ser destinada a aterros se restringe somente ao que não é reaproveitado, o que é viável também para a empresa geradora, já que os gastos com esse descarte vão ser reduzidos ou até mesmo extintos.

Como visto, existem diversos países que regulamentaram e parametrizaram o reaproveitamento do resíduo de fundição em moldes de areia, nos mais variados setores. Em relação ao Brasil, pode-se encontrar diversas pesquisas científicas que tratam a respeito desse tema e com resultados satisfatórios em áreas como da construção civil (na composição do concreto e de tijolos de alvenaria), nas misturas asfálticas, como material de base em rodovias, entra outros. Todavia, o Brasil, bem como os estados e municípios, ainda são deficientes em relação as legislações específicas que tratem a respeito do reaproveitamento do resíduo de fundição. Porém, é importante sempre observar as particularidades

dos resíduos por meio de ensaios laboratoriais, pois as substâncias presentes nos resíduos gerados aqui podem ser diferentes dos gerados em outros locais, o que altera os setores em que o resíduo pode ser reaproveitado. Devido a essas particularidades, é necessário utilizar das pesquisas nacionais para elaboração das legislações específicas.

Em âmbito regional, mais especificamente no Noroeste Fluminense, foi observado que atualmente existem poucas empresas realizando o processo de fundição, ao total foi conseguido localizar dez empresas desse setor. Algumas delas deixaram de realizar essa atividade nos últimos tempos, pois não era viável economicamente. Porém, as empresas que ainda exercem esse meio de produção de peças, e a maioria não respondeu às perguntas a respeito do descarte e reaproveitamento das areias utilizadas, o que pode gerar dúvidas se os procedimentos adotados são adequados e que exista um plano de gerenciamento ambiental e dos resíduos gerados. Uma empresa, por meio de seu representante, informou que o resíduo descartado é recolhido pela secretaria de meio-ambiente do município e posteriormente encaminhado ao local de despejo, o qual não foi informado aonde seria.

Verificando os dados obtidos através dos portais oficiais das prefeituras municipais, pode-se perceber que das cinco cidades abordadas, somente Itaperuna possui o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, porém não é possível localizá-lo nas plataformas digitais do município, o que dificulta o acesso da sociedade à essas informações. Todas as outras quatro cidades, segundo as pesquisas, não possuem o PMGIRS. Algumas delas contam somente com o Plano de Saneamento Básico, que mesmo englobando os resíduos sólidos industriais, não consegue tratar da maneira mais adequada, visto que existem diversas peculiaridades em cada tipo de resíduo sólido industrial, que necessitam de manejos e destinações diferentes.

De maneira geral, foi possível verificar que esse resíduo é descartado em aterros industriais, o que reduz a vida útil do aterro, visto que o volume gerado é alto. Como a distância das fundições para os aterros industriais regulamentados muitas vezes é grande, o custo desse despejo se torna elevado. Isso pode fazer com que as empresas, visando somente o lucro, busquem alternativas mais baratas, como o descarte em locais não preparados para receber esse resíduo, o que pode acarretar em contaminação do solo e das águas. Pelo que foi observado, as empresas verificadas não estão enquadradas nas determinações legais, visto que os próprios municípios, em sua maioria devido à falta de um plano de gerenciamento dos resíduos sólidos, não estão adaptados a PNRS.

De acordo com o que foi observado, conclui-se que grande parte das empresas de fundição no Noroeste Fluminense são de pequeno porte e não legalizadas no setor, o que torna mais difícil o conhecimento a respeito dos procedimentos empregados nos processos, assim como o cumprimento as normas determinadas nas legislações ambientais. Em sua maioria as empresas abordadas não

possuem inovações tecnológicas, não disponibilizam informações sobre o gerenciamento do resíduo, nem em relação ao local em que é feito o descarte.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. **ABNT/CB-59 Comitê Brasileiro de Fundição**. Revista Fundição & Matérias-primas, 99ª ed., São Paulo, agosto, 2008(b).

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. **Areias Descartadas de Fundição (ADF)**. Disponível em: <[www.solucoesadf.com.br](http://www.solucoesadf.com.br)>. 2008a. Acesso em 13 de nov de 2020.

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. **Atividades das comissões de estudo instaladas**. Revista Fundição & Matérias-primas, 113ª ed., São Paulo, outubro, 2009(a).

ABIFA - Associação Brasileira de Fundição. **In: SEMINÁRIO DE FUNDIÇÃO**, 6. São Paulo, ABIFA, 2006.

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. **Índices de Mercado**. 2020 Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2021/01/12-BOLETIM-DEZEMBRO-20.pdf>>. Acesso: 01 de março de 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/CB-059 - Comitê Brasileiro de Fundição**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cb-59>> . Acesso em 11 de out de 2020.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15702: **Areia descartada de fundição – Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 8p., 2009.

ALBUQUERQUE, A. F. **Biodegradação de Compostos Fenólicos Incorporados em Areia de Moldagem Utilizando Microrganismos do Solo**. 2000. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

ANDRADE, L. de B.; CARNIN, R. L. P.; PINTO, R. C. de A. **Areia descartada de fundição para uso em concreto de cimento Portland: análise do agregado**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004: Classificação dos Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.984: Areia descartada de fundição – Central de processamento, armazenamento e destinação (CPAD)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BONET, I.I. **Valorização do Resíduo Areia de Fundação (RAF). Incorporação nas massas asfálticas do tipo C.B.U.Q.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 10 out. 2020.

BRASIL. **Lei Federal nº 12305**, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 14 out. 2020.

BRASIL. **Lei Federal nº 6938**, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6938-31-agosto-1981-366135-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 12 out. 2020.

BRASIL. **Lei Federal nº 9605**, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm)>. Acesso em: 12 out. 2020.

BRONDINO, O. C; SILVA, J. P. Da; BRONDINO, N. C. M. **O Problema Do Descarte Da Areia De Fundação: Ensino Para O Desenvolvimento Sustentável.** Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Juiz de Fora - MG, 2014.

CASTRO, César AG. **A produção de areia base para fundição e o meio ambiente: Sibelco Mineração Ltda.** In: Congresso de Fundição, São Paulo. 2001.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo.** São Paulo, dezembro de 2011.

CHEGATTI, S. **Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas.** 2004. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções do CONAMA: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e maio de 2006, 1ª ed.,** Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2006.

COSTA, C; PINTO, S; VENTORINI, L.A; VIEIRA, A. **Areia descartada de fundição em substituição ao agregado fino em misturas asfálticas para pavimentação.** s.d. Instituto Militar de

Engenharia - IME. Disponível em:  
<[http://www.solucoesadf.com.br/img\\_paginas/Artigo\\_clauber.pdf](http://www.solucoesadf.com.br/img_paginas/Artigo_clauber.pdf)>. Acesso em: 11-10-2020.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). **Summaries of States Guidelines and Regulations on Reuse of Industrial By-Products – Appendix A**. Dezembro, 2002. Disponível em:  
<<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 02-11-2020.

FAGUNDES, A. B. ; VAZ, C. R. ; OLIVEIRA, I. L. **Caminhos para a Sustentabilidade do Setor de Fundição no Brasil**. In: XII SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 2009, São Paulo.

FAGUNDES, Alexandre Borges *et al.* **Caminhos para a Sustentabilidade do Setor de Fundição no Brasil**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, n. 2, p. 27, 2010.

FERREIRA, J. M. G. de C. **Tecnologia da Fundição**. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1999, p. 5.

GODOY, M. R. B. **Dificuldades para aplicar a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil**. Caderno de Geografia. v. 23, n. 39, p. 1-12, 2013.

GOMES, L. P; MORAES, C. A.M; BOFF, R. D. **Emprego de areia usada de fundição em coberturas intermediária e final de aterros sanitários de RSU**. In: Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.3, n.4, p. 71-76, abr.-jun. 2007

GUNEY, Y.; AYDILEK, A. H.; DEMIRKAN, M. M. **Geoenvironmental behavior of foundry sand amended mixtures for highway subbases**. Waste management, v. 26, n. 9, p. 932-945, 2005.

KAUR, G.; SIDDIQUE, R.; RAJOR, A. **Properties of concrete containing fungal treated waste foundry sand**. Construction and Building Materials, v. 29, p. 82-87, 2012.

KLINSKY, L. M. G.; FABBRI, G. T. P. **Reaproveitamento da areia de fundição como material de base e sub-base de pavimentos flexíveis**. TRANSPORTES, v. 17, n. 2, 2009.

MAZARIEGOS, J.P. **Estudo para reutilização do resíduo sólido constituído pelas areias de fundição aglomeradas com argila, através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland, para aplicação no setor da construção civil**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, 2008.

MINAS GERAIS. Resolução COPAM nº 196/2014: Dispõe sobre a utilização da areia descartada de fundição na produção de artefatos de concreto sem função estrutural. 2014. Disponível em <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=268898>>. Acesso em: 12 out. 2020.

MORAES, C. A. M. *et al.* **Elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos de empresas de fundição de ferro fundido de pequeno porte.** Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 10, n. 4, p. 296-302, 2010.

MOTTA, F. G. **A cadeia de destinação dos pneus inservíveis: o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico.** Ambiente & sociedade, v. 11, n. 1, p. 167-184, 2008.

OLIVEIRA, B. F. De. **Fundição.** Rede e-tec, Belém, p. 27-31, 2013.

OLIVEIRA, J.C.D. **Estudo Experimental da Regeneração Térmica de Areia de Macharia em Leito Fluidizado.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007

PENKAITIS, G. **Impacto ambiental gerado pela disposição de areias de fundição: estudo de caso.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PNRS – **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Subemenda Substitutiva Global de Plenário ao Projeto de Lei nº 203, de 1991, e seus apensos. Disponível em: <[https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_emendas?idProposicao=15158&subst=0](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_emendas?idProposicao=15158&subst=0)>. Acesso em 14 out. 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE APERIBÉ (PMA) – **Plano Municipal de Saneamento Básico de Aperibé.** 2015. Disponível em: <<https://aperibe.rj.gov.br/uploads/720f0baf3a94754dbe954d408bdddafa03cb7000.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2021

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DOS GOYTACAZES (PMCG). **Ofício 148/2018**– Gestão de Resíduos. 27 nov. 2018b. [NÃO PUBLICADO]

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DOS GOYTACAZES (PMCG). **Aterro Sanitário de Conselheiro Josino entra em funcionamento.** 2011. Disponível em: <[https://www.campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id\\_noticia=6261](https://www.campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id_noticia=6261)>. Acesso em: 15 abr. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAOCARA (PMI) – **Plano Municipal de Saneamento Básico de Itaocara**. 2013. Disponível em: <<https://www.ceivap.org.br/saneamento/itaocara/Produto-5-Proposicoes-Itaocara.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA (PMSAP) – **Plano Municipal de Saneamento Básico de Santo Antônio de Pádua – Revisão Volume 7**. 2019. Disponível em: <[https://docs.google.com/viewer?url=http://padua.rj.gov.br/siteantigo/area\\_restrita/modulos/transparencia/arquivos/3996e0Volume\\_7\\_\\_Programas\\_Projetos\\_e\\_Acoes\\_2.pdf](https://docs.google.com/viewer?url=http://padua.rj.gov.br/siteantigo/area_restrita/modulos/transparencia/arquivos/3996e0Volume_7__Programas_Projetos_e_Acoes_2.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2021.

RIBEIRO, A. **Prefeitura assina Plano de Resíduos Sólidos**. Blog do Adilson Ribeiro, 12 abr. 2017. Disponível em: <<https://adilsonribeiro.net/2017/04/12/itaperuna-quarta-feira-1600-prefeitura-assina-plano-de-residuos-solidos/>>. Acesso em: 09 abr. 2021.

RICH, J. C. - **The Materials and Methods of Sculpture**. New York : Dover, 1988, p. 126.

RIO DE JANEIRO (ESTADO) Plano Estadual de Resíduos Sólidos: Relatório Síntese (2013). 140 p. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://observatoriopnrs.files.wordpress.com/2014/11/rio-de-janeiro-plano-estadual-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>>. Acesso em: 24-11-2020.

SANTA CATARINA. **Resolução CONSEMA nº 11/2008**: estabelece critérios para a utilização da Areia Descartada de Fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural. 2008. Disponível em: <[http://fundai.sc.gov.br/files/legislacoes/legislacao\\_103.pdf](http://fundai.sc.gov.br/files/legislacoes/legislacao_103.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2020.

SANTA CATARINA. **Resolução CONSEMA nº 11/2008**: estabelece critérios para a utilização da Areia Descartada de Fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural. 2008. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=258568>>. Acesso em: 11 out. 2020.

SÃO PAULO. **Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E: Procedimentos para gerenciamento de areia de fundição – CETESB** (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). 2007. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-industriais/reutilizacao-de-areia-de-fundicao/>>. Acesso em: 11 out. 2020.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de Tratamento Químico via Processo Fenton**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SEVERO, J. Anders et al. **Regeneração térmica de areia fenólica de fundição em leito fluidizado em escala laboratorial**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, 2018.

SILVA, K. D. da; **Reutilização do resíduo de areia de fundição no Brasil e no mundo o contexto do estado de Minas Gerais: o contexto do estado de Minas Gerais**. Trabalho apresentado à Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do certificado de Especialista em Tecnologia Ambiental, 2010.

SILVA, T.C. **Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição**. Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2007.

SINTO, Sinto Brasil Produtos Limitada. **Fundição - Introdução**. Sintokogio Group, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.sinto.com.br/pt/nfe/pdf-produtos/fundicao.pdf>>. Acesso: 02 de outubro de 2020.

TORRE, J. **Manual Prático de Fundição e Elementos de Prevenção da Corrosão**. 1 ed. Curitiba: Hemus, 2004.