

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA**

**YASMIN MILENA LOTH BUENO**

**DISPONIBILIDADE E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS  
INDUSTRIAIS PROVENIENTES DE PROCESSOS DE FUNDIÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2020**

**YASMIN MILENA LOTH BUENO**

**DISPONIBILIDADE E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS  
PROVENIENTES DE PROCESSOS DE FUNDIÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Comissão de Diplomação do Curso de Bacharelado em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Dr. Larissa Macedo dos Santos Tonial

Co-orientador: Dr. Andressa Pilonetto

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

O trabalho de diplomação intitulado “Disponibilidade e caracterização de resíduos industriais provenientes de processos de fundição” foi considerado APROVADO de acordo com a ata da banca examinadora, processo: 23064.039527/2020-37 e Documento: 1805368

Fizeram parte da banca os professores.

Prof. Dr. Larissa Macedo dos Santos Tonial

Prof. Dr. Marcio Barreto Rodrigues

Prof. Dr. Leandro Zatta

Dedico este trabalho aos meus pais, que me motivam a estudar e nunca me deixam desistir, expresso minha eterna gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo dessa graduação tive o prazer de conhecer uma pessoa sensacional, minha orientadora Dr. Larissa Macedo dos Santos Tonial, esteve com a sua porta aberta para mim, tirando minhas intermináveis dúvidas, e acreditou que tudo daria certo.

Outra pessoa marcante ao longo dessa caminhada foi minha co orientadora Dr. Andressa Pilonetto, no qual tive o privilégio de conviver dia a dia, que me ensinou além da matéria a trabalhar em grupo, e que não fazemos pesquisa sozinhos. Além de ter depositado minhas angústias e incertezas, sempre me respondia com seus conselhos positivos.

A indústria no qual disponibilizou os resíduos ao longo das amostragens, e explicou passo a passo de seus processos.

Agradeço ao Departamento de Engenharia Civil do campus pela colaboração. Ao laboratório 7 que sempre esteve à disposição para entregar o que era necessário aos experimentos, principalmente aqueles que ficaram depois do horário comigo. Também a Central de Análise e a Universidade Federal de Santa Maria – UFSM pelas análises realizadas.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco pela acolhida.

Aos demais professores que me ajudaram emprestando seus objetos pessoais de trabalho. Aos meus amigos sempre dispostos a me ajudar e me escutar, corrigir, a todas dicas e os auxílios durante os procedimentos. E a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram com a realização do mesmo.

E principalmente aos meus pais, Madalena Tzechuk e Sebastião Altair Loth Bueno, que desde do início sempre me apoiaram fazendo esse sonho se tornar possível.

E a Deus por me permitir tudo isso.

## RESUMO

BUENO, Yasmin M. L. Disponibilidade e caracterização de resíduos industriais provenientes de processos de fundição. 2020. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

Os resíduos sólidos industriais provenientes de industriais de fundição têm gerado grande preocupação, devido seu elevado volume gerado e seu descarte em aterros industriais, elas contribuem significativamente para o país em relação aos impostos e empregos gerados. Dessa forma a proposta deste trabalho de conclusão de curso é para aprofundar mais sobre as pesquisas em relação à caracterização dos resíduos de escória de fundição, areia de fundição e pó de ferro a fim de melhorar sua disposição final. Diante das possibilidades para reuso desses resíduos podendo se tornar matéria-prima para outro processo é preciso conhecer sua composição foi realizado uma série de caracterizações através das análises de resíduos mineral fixo, FAAS, XRD, granulometria, comportamento magnético e teor total de carbono e nitrogênio. Dentro os resultados destacam-se o pó de ferro que apresentou ser precursor magnetita, hematita, ou óxido de ferro (III). A escória de fundição não apresentou resultados positivos para um possível reuso, devido sua grande granulometria e sua elevada heterogeneidade entre as amostras. E a areia de fundição que uma pequena parte já é encaminhada para a construção civil, chegamos à conclusão é necessário mais incentivo para reutilizar-la maior quantidade dela.

**Palavras-chave:** Caracterização. Resíduo sólido industrial. Escória. Pó de ferro. Areia de fundição.

## ABSTRACTS

BUENO, Yasmin M. L. Availability and characterization of industrial waste from foundry processes. 2020. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

Industrial solid waste from smelters has generated great concern, due to its high volume and its disposal in industrial landfills, they contribute significantly to the country in relation to taxes and jobs generated. In this way the proposal of this course conclusion work is to deepen more about the researches in relation to the characterization of the residues of foundry slag, foundry sand and iron powder in order to better its final disposition. In view of the possibilities for reusing these residues, which could become raw material for another process, it is necessary to know their composition. A series of characterizations were carried out through the analysis of fixed mineral residues, FAAS, XRD, granulometry, magnetic behavior and total carbon and nitrogen content. Within the results, the iron powder that showed to be a precursor magnetite, hematite, or iron oxide (III) stands out. The casting slag did not show positive results for possible reuse, due to its large granulometry and high heterogeneity between the samples. And the foundry sand that a small part is already sent to the civil construction, we came to the conclusion that more incentive is needed to reuse it more of it.

**Keywords:** Industrial solid waste. Slag. Iron powder. Foundry sand.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo resumido de como são obtidos os resíduos escória de fundição (a), areia de fundição (b) e pó de ferro (c).....	30
Figura 2: Resíduos escória de fundição (a), areia de fundição (b) e pó de ferro (c)..	32
Figura 3: Difrátogramas das amostras de escória, (-) E1 e (-) E5. ....	36
Figura 4: Difrátogramas das amostras de areia de fundição, (-) AF1 e (-) AF5.....	37
Figura 5: Difrátogramas das amostras de pó de ferro, (-) PF1 e (-) PF5.....	38
Figura 6: Distribuição granulométrica das amostras de areia de fundição. ....	41
Figura 7: Distribuição granulométrica das amostras de pó de ferro. ....	42
Figura 8: Análise do comportamento magnético das amostras PF1, E1, PF2, E2, PF3, E3, PF4, E4, PF5 e E5.....	44



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentrações tóxicas de elementos potencialmente tóxicos aos humanos em níveis máximos tolerados na dieta diária, e fitotóxica para as plantas. (GAIVIZZO, 2001) .....	24
Tabela 2: Descrição das amostras de resíduos de fundição. (Autoria própria) .....	33
Tabela 3: Resíduo mineral fixo, a média aritmética e desvio padrão amostral (média $\pm$ desvio padrão), coeficiente de variação (Cv) para os resíduos, resultados obtidos pelo método da mufla. (Autoria própria) .....	34
Tabela 4: Teor de metais potencialmente tóxicos presentes nos extratos dos resíduos após a digestão dos resíduos sólidos indústrias. ....	39
Tabela 5: Teores totais de C das amostras E1, AF1, PF1, E5, AF5 e PF5, antes e após a calcinação.....	45

## LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURA

a.C.	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPAD	Central de Processamento, Armazenamento e Destinação
FAAS	<i>Flame Atomic Absorption Spectrometry</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INRSI	Inventário Nacional Resíduos Sólidos Industriais
NBR	Normas Brasileiras
ONU	Organização das Nações Unidas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
XRD	<i>X-ray diffraction</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVOS GERAL.....	15
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
3.1 RESÍDUOS – DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO.....	16
3.2 RESÍDUOS – TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL.....	17
3.3 RESÍDUOS – ESTUDOS.....	18
3.4 HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO DA FUNDIÇÃO .....	19
3.5 PROCESSO DE FUNDIÇÃO.....	21
3.5.1 RESÍDUOS – ESCÓRIA DE FUNDIÇÃO .....	21
3.5.2 RESÍDUOS – AREIA DE FUNDIÇÃO.....	22
3.5.3 RESÍDUOS – PÓ DE FERRO.....	23
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
4.1 AMOSTRAS.....	26
4.2 COLETA .....	26
4.3 PREPARO DAS AMOSTRAS.....	26
4.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS .....	26
4.4.1 RESÍDUOS MINERAL FIXO .....	26
4.4.2 DIFRATOMETRIA DE RAIO-X .....	27
4.4.3 ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA.....	28
4.4.3.1 DIGESTÃO DAS AMOSTRAS.....	28
4.4.3.2 QUANTIFICAÇÃO DOS TEORES DE Pb, Zn e Ni .....	28
4.4.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	28
4.4.5 COMPORTAMENTO MAGNÉTICO.....	29
4.4.6 ANÁLISE ELEMENTAR.....	29
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
5.1 PROCESSOS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	30
5.2 AMOSTRAS.....	33
5.3 RESÍDUO MINERAL FIXO .....	33
5.4 XRD .....	35
5.5 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE NI, PB E ZN .....	39

5.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	41
5.7 ANÁLISE ELEMENTAR.....	44
5.7.1 CARBONO TOTAL .....	45
5.7.2 NITROGÊNIO TOTAL.....	46
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>47</b>
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	48
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional observado nos últimos anos, associado ao desenvolvimento industrial, tem desencadeado grande quantidade e variedade de resíduos. Dentre estes, destacam-se os resíduos domiciliares, sólidos urbanos e os resíduos industriais, cujo volume elevado e toxicidade, podem causar riscos à saúde humana e ao meio ambiente, caso não venham a ter um tratamento ou descarte apropriado. IBGE (2019)

Os resíduos classificados como perigosos, são aqueles tipos de materiais que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, entre outras. E resíduos não perigosos são aqueles que não trazem perigo ao meio ambiente e a saúde humana. Ambos podem ser encontrados nos estados líquidos, semi-sólidos, sólidos ou gasosos. ABNT (2004)

A grande preocupação mundial é que os resíduos vêm sendo gerados em grande escala e sem um planejamento adequado. Assim, dentre os desafios atuais destacam-se: garantir a aplicabilidade das leis existentes, reduzir o volume gerado, transformar o resíduo em recurso, reutilizar e tratar os resíduos para um correto destino final, de modo a reduzir o impacto ao meio ambiente.

Nesse contexto, uma grande parcela dos resíduos é gerada e descartada pela indústria, porém ainda tem-se uma grande quantidade de resíduos que pode ser reaproveitado, tendo um conhecimento dos seus componentes ou até mesmo um destino correto, podem se tornar um subproduto com alto valor agregado. Entretanto, a maioria tem como destino final os aterros industriais que podem vir afetar negativamente a biota presente aos redores de aterros.

Neste trabalho destacam-se três resíduos industriais sólidos de uma indústria de fundição: a escória de fundição, a areia de fundição e o pó de ferro.

O estudo desses tipos de resíduos — da indústria de fundição — tem grande relevância, pois o comércio da fundição iniciou-se no país ainda no período da colonização, e tornou o Brasil um dos maiores produtores de fundidos do mundo. A contribuição econômica do setor industrial está na geração de empregos e arrecadação de impostos para o país.

Já no setor ambiental a principal contribuição está relacionada a possibilidade de reuso dos resíduos como matéria-prima em outros processos.

Considerando a importância econômica e ambiental o objetivo desse trabalho é contribuir na gestão dos resíduos oriundos do setor de fundição, determinar algumas características, composição e interação com o meio ambiente.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAL

Caracterizar, por meio de análises físico-químicas e espectroscópicas resíduos sólidos industriais provenientes de uma indústria de fundição localizada no Sudoeste do Paraná.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Classificar os resíduos empregando as normativas vigentes;
- Quantificar os teores de chumbo (Pb), zinco (Zn) e níquel (Ni) nos resíduos por meio da espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS, do inglês *Flame Atomic Absorption Spectrometry*);
- Determinar a composição dos resíduos por meio da difratometria de raio-X (XRD, do inglês *X-ray diffraction*);
- Realizar a avaliação granulométrica dos resíduos;
- Analisar por meio do comportamento magnético, a presença de materiais com susceptibilidade magnética nas amostras;
- Quantificar a porcentagem de carbono e nitrogênio total nas amostras;
- Tratar os dados com o auxílio de ferramentas estatísticas;
- Comparar os resultados obtidos com a literatura e a legislação vigente;
- Sugerir alternativas viáveis de reaproveitamento e disposição final para os resíduos estudados.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 RESÍDUOS – DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Desde o início da habitação do ser humano e os animais, à Terra há resíduos, até mesmo antes da era industrial. Contudo, a preocupação com a composição, tratamento e disposição final destes é recente, visto o crescente volume gerado e os problemas ambientais, econômicos e de saúde ocasionados pelos mesmos. Para isso criou-se normas as quais regularizam procedimentos para auxiliar nesses problemas. Hood, William W; Wilson (2001) e John Pichtel (2017)

Para que o tratamento e/ou disposição final dos resíduos seja feita de maneira adequada é importante saber a sua composição e, conseqüentemente sua classificação. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é um órgão que cria e regulamenta, conceitua resíduo sólido ou semissólido, sendo materiais resultante de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Para Pichtel (2017), resíduo sólido é um material sólido no qual se opta em descartá-lo pois afirma-se que é mais viável economicamente realizar o descarte do que reaproveitá-lo ou reutilizá-lo. ABNT (2004) e John Pichtel (2017)

Os resíduos sólidos são classificados em sub-classes, de acordo com a ABNT Normas Brasileiras 10004:2004, e esta classificação geral baseia-se no grau de periculosidade do resíduo a saúde pública e/ou ao meio ambiente, e na concentração poluente. Também leva-se em consideração a identificação dos processos que lhe deram origem.

Deste modo, eles podem ser classificados nas classes I e II, sendo esta última subdividida em classe II A, e classe II B, em função dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente. A correta classificação do resíduo é o primeiro passo para uma gestão adequada, a partir da sua classificação poderá ser definido o destino, e também sobre a estocagem, armazenamento, tratamento, entre outros fatores. ABNT (2004a)

Os resíduos da classe I, denominados de resíduos perigosos, são aqueles letais a saúde humana e aos organismos vivos. Eles podem ter características tóxicas, corrosivas, inflamáveis e patogênicas. ABNT (2004a)

A classe II A representa resíduos não inertes, tais como resíduo de sucata, resíduos de restaurantes, resíduos de areia de fundição, resíduos e bagaço de cana,



entre outros. A classe II B, engloba os resíduos inertes, aqueles que em temperatura ambiente e em contato dinâmico com água não tem concentrações que excedem os limites estabelecidos na legislação. ABNT (2004a)

### 3.2 RESÍDUOS – TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL

A Conferência das Nações Unidas (ONU) realizada no Rio de Janeiro em 1992, conhecida como ECO/92, teve como uma das pautas a avaliação da situação dos países em relação ao desenvolvimento sustentável, e suas preocupações com o meio ambiente. Acreditava-se que os países não teriam matéria-prima suficiente para o seu desenvolvimento e globalização econômica, dentre as discussões e propostas falou-se na reciclagem, que consiste em reciclar e reutilizar ao máximo, e reduzir a produção de resíduos ao mínimo. Oliveira (2012)

Devido à existência da imensa variedade de resíduos que são gerados em larga escala diariamente não há um tratamento específico que possa ser adotado por todos. De modo geral, as formas mais frequentemente empregadas para o tratamento dos resíduos sólidos são: (1) tratamento térmico, dentre estas, pirólise, co-processamento, plasma e incineração, (2) tratamento biológico, dentre estes, digestão anaeróbica, compostagem, e (3) processos físicos, sendo a centrifugação, separação gravitacional, redução de partículas. Projeto GeRes (2011)

O manuseio e as condições empregadas no tratamento dos resíduos requerem cuidados, para que estes possam ser recuperados, requerem cuidados em relação a sua recuperação. Dentre os cuidados deve-se realizar a separação minuciosa dos resíduos dentro de cada classe, com o objetivo de reduzir os custos com o gerenciamento, o risco ambiental e o risco de contaminação. Para auxiliar no manuseio desses resíduos o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a padronização de cores para identificação dos resíduos. CONAMA (2001)

Além disso, em 2010 foi aprovada no Brasil a Lei nº 12.305 intitulada Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ao gerenciamento de resíduos sólidos e tem como objetivos: (1) cuidar da saúde pública e do meio ambiente; (2) melhorar a gestão de resíduos; (3) aprimorar energias limpas; (4) estimular as industriais a fazer desse resíduo um subproduto; (5) ajudar na melhoria do processo produtivo; (6) e estimular o consumo sustentável. República; Civil (2010)

Segundo o CONAMA, Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002, intitulada Gestão de Resíduos e Produtos Perigosos, as indústrias produtoras de resíduos

sólidos industriais devem ter o controle sobre a quantidade de resíduo gerado, os processos envolvidos na geração, as suas características, a forma de armazenamento, de tratamento, de reutilização, de reciclagem, no transporte e na disposição final dos resíduos adotada. Estas informações são necessárias para a elaboração do Inventário Nacional Resíduos Sólidos Industriais (INRSI). CONAMA (2002)

Localmente, através de um relatório sobre o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná, realizado pelos órgãos e entidades do governo do estado do Paraná, em 2018, realizou-se um levantamento das áreas de disposição final de resíduos sólidos e áreas degradadas por disposição inadequada, em todo estado. Com ênfase nas áreas de disposição final de resíduos sólidos industriais localizada no Sudoeste do Paraná, o relatório indicou duas localizações adequadas e uma inadequada. Também apresentou áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos apontando seis localizações degradadas. Por fim, concluiu-se que existem trinta e oito áreas suspeitas de degradação por disposição de resíduos sólidos. PARANÁ (2011)

Mendes e colaboradores elaboraram um levantamento de informações dos resíduos oriundos dos processos produtivos das indústrias de pequeno porte de fundição, seguindo a Lei do CONAMA, Resolução nº 313/2002. Neste documento elaboraram um levantamento de informações dos resíduos oriundos dos processos produtivos das indústrias de pequeno porte de fundição. Confirmou-se que a lei pode contribuir positivamente na prática, assim melhorando o processo e contribuindo positivamente para o meio ambiente. Moraes et al. (2013)

### 3.3 RESÍDUOS – ESTUDOS

Diante do exposto e com o objetivo de realizar um levantamento dos trabalhos científicos sobre resíduos, fez-se uma busca utilizando a plataforma de dados *Science Direct* com a expressão “industrial waste”. Como resultado, obteve-se mais de 212.006 trabalhos entre os anos de 2010 e 2020. Dentre estes, destacam-se Permal et al. (2020), os quais realizaram um levantamento da quantidade de resíduos orgânicos descartados em uma safra de abacate. Os autores pesquisaram formas de reaproveitar o óleo que era extraído, empregando-o como conservante de alimentos.

Sanchez-Olivares et al. (2019) observaram que na produção da tequila ocorre a geração de toneladas de resíduos de fibra de agave como um subproduto do processo, comumente destinado a aterros sanitários. Isso os levou a analisar a fibra de henequen, e propuseram um biocompósito a partir dos resíduos.

El-Sayed (2019) avaliou a adição de diferentes teores de resíduos industriais de fibras de aço em vigas de concreto armado, de modo a reduzir o volume de resíduos da construção civil destinados a lugares inadequados e viabilizar os custos da construção civil.

Zhou et al. (2019) avaliaram a utilização do resíduo industrial sólido de ganga de carvão para a absorção de dois corantes provenientes de indústrias têxteis. Su (2018) investigou a possibilidade de incorporar vários resíduos industriais de cinzas volantes de carvão, de construção e demolição, escória de ferroníquel, escória de aço e escória de lama vermelha em materiais à prova de fogo.

Usualmente, as pesquisas supracitadas enfatizam a variedade de estudos científicos envolvendo resíduos sólidos. Assim, uma pesquisa mais refinada empregando expressão “foundry waste” foi realizada e os resultados mostraram 2.433 trabalhos entre os anos de 2010 e 2020. Dentre estes, destaque para IQBAL, M. F. et al.(2020) e Matos et al. (2019), os quais avaliaram a inclusão do resíduo areia de fundição no concreto na construção civil, viabilizando custos e obtendo um concreto com melhor resistência.

Alekseev et al. (2019) desenvolveram novos compostos cerâmicos ecológicos, a partir da lama vermelha, bauxita e areia de fundição, buscando reduzir a quantidade de resíduos, e obter cerâmicas favoráveis ao meio ambiente, com boas propriedades físicas.

Souza et al. (2019) avaliaram o emprego do subproduto de areia de fundição para produzir revestimentos com materiais de proteção em liga de alumínio por oxidação eletrolítica no plasma.

Considerando a quantidade e variedade de estudos sobre resíduos, e as preocupações sobre a destinação correta, este trabalho estudou três resíduos que são gerados em grande escala pelos processos das indústrias de fundição.

### 3.4 HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO DA FUNDIÇÃO

O processo de fundição é muito antigo, mas não se tem certeza sobre a sua data inicial. Estima-se que o processo foi conhecido em torno de 5000 a.C. na

fabricação de cobre fundido. Na Idade do Bronze há evidências da extração de minérios, acredita-se que foi desenvolvido a adição do estanho e arsênio ao cobre para formar o bronze. Mckie (2015) e Casotti et al. (2011)

Fundidos de ferro são encontrados e datados desde 600 a.C. na China. Como as ligas não tinham resistência, adicionava-se carvão aumentando assim sua resistência. No período romano o ferro já era empregado na fabricação de machados e ferramentas. MCKIE (2015) e RESCHKE (2003)

A ciência da fundição teve avanço durante a Segunda Guerra Mundial quando conseguiu-se ter controle da morfologia da grafita durante a solidificação. CASOTTI et al. (2011)

No Brasil, o processo de fundição chegou com os portugueses, cujos registros ainda estão presentes no país, como no caso da Floresta Flona de Ipanema localizada em São Paulo que abriga umas das principais construções da época. Quando os colonizadores chegaram, observaram que ali havia mantimentos que podiam auxiliar na sobrevivência e também encontrava-se minerais, dentro deles a magnetita, minério que permite a fabricação de ferro. Com isso, construíram fornos dando início a fabricação de ferro no país, é reconhecida como o primeiro local americano a se fabricar ferro. Ambiente, M. Do M (2009)

A fundição, principalmente de ferro, ganhou um grande papel na indústria nacional com a construção de ferrovias, com a chegada das indústrias automotivas e com a construção de Brasília. Casotti et al. (2011) e Reschke (2003)

Dados mais atuais publicados pela revista Modern Castin 2019, mostram que em 2018 o Brasil ocupava a 9º posição na classificação dos países que mais produz fundidos no mundo, sendo as regiões Sudeste e Sul as que mais se destacam. O Estado com maior produção de fundidos do país, é São Paulo, devido à demanda industrial. Assim, essa atividade é muito importante para a economia, pois gera muitos empregos. Casotti et al. (2011)

Ainda que considerada uma grande recicladora - uma vez que utiliza materiais descartados - a indústria da fundição também pode ocasionar danos ambientais, devido à geração de resíduos sólidos, efluentes, e emissões de gases poluentes. Nos últimos anos essas indústrias junto com órgãos responsáveis estão desenvolvendo novas técnicas que visam a minimização das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, e o reaproveitamento dos resíduos sólidos, devido às legislações recentes. Casotti et al. (2011) e Mendes et al., (2013)

### 3.5 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

O processo de fundição consiste em um conjunto de transformações físico-química na matéria-prima, sendo metais ferrosos ou não ferrosos, e tem como objetivo chegar a um produto de forma desejada a partir de modelos.

#### 3.5.1 RESÍDUOS – ESCÓRIA DE FUNDIÇÃO

A escória de fundição é um resíduo proveniente do primeiro processo da fundição, no qual ao se solidificar a sucata para a purificação do ferro, este e os demais materiais presentes se separam, todos esses materiais estranhos são denominados escória de fundição. Reschke (2003)

A escória de fundição é principalmente constituída por óxidos tais como,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $CaO_3$ , e também podem conter sulfitos. Sua cor e características variam de acordo com seu resfriamento: quanto mais próxima à cor preta, maior a quantidade de óxido de ferro e manganês presentes, que são provenientes da sucata. Reschke (2003) e Whitney G.G. (2008)

Em outros países, a escória já é reaproveitada. Por exemplo, na Europa usa-se para ativação de cal na produção de lajotas, nos Estados Unidos utiliza-se a maior parte para pavimentação, mas também em outras aplicações incluindo o isolamento acústico e térmico, e proteção contra chama. No Brasil, boa parte da produção ainda é destinada aos aterros industriais, já que não é tóxico o que, pela legislação, permite seu destino final em aterros industriais. Alguns estudos abaixo mostram seu potencial para algumas reutilizações. Silva (2007)

Tiecher et al. (2018) estudou a adição da escória de fundição em concreto autodensável, e concluiu que, quando em granulometria adequada auxilia na viscosidade do cimento, sendo uma alternativa boa para a recuperação desse resíduo.

Teixeira et al. (2018) avaliaram a adição da escória de fundição na produção de cerâmicas estruturais. Os estudos mostraram a viabilidade dessa adição, mantendo o padrão exigido, além de poder contribuir positivamente no meio ambiente.

### 3.5.2 RESÍDUOS – AREIA DE FUNDIÇÃO

O processo de fundição tem por objetivo moldar peças a partir da fusão de materiais e após solidificar com as características desejadas. Temos o segundo resíduo de interesse chamado areia de fundição, é um subproduto proveniente do molde que auxilia a dar forma a peça durante esse processo. Silva (2007)

Existem inúmeros processos tecnológicos de fundição, um dos mais antigos e utilizado até hoje, é o processo de moldagem em areia. A justificativa da sua ampla aplicação, se dá em relação ao seu custo e abundância. Silva (2007)

A fundição por moldagem em areia é empregada para dar forma aos materiais. De forma simplificada, são usados modelos, que são peças semelhantes ao que se quer obter, então o material a ser moldado é colocado sob areia e seus aditivos, para obter as características desejadas, como tamanho e forma. Casotti et al. (2011)

A composição da areia inclui a sílica, um material granular e refratário, em maior proporção, e o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), em menor proporção, é a principal matéria-prima para a confecção dos moldes. Ainda são usados aglomerados para ter a consistência desejada na hora de formar o molde, podendo estes possuírem constituintes orgânicos, inorgânicos e mistos, ou até mesmo aditivos, carvão mineral, e água deixando o sistema úmido ajudando na compatibilidade da mistura. Oliveira; Kovaleski (2010)

Após a peça se solidificar é desmoldado, essa areia pode ser reutilizada várias vezes e descartada. Denominada *waste foundry sand* (WFS), conhecida no português como resíduo de areia de fundição (RAF), é um resíduo gerado em grande escala pelas indústrias de fundição, e deste modo a preocupação é com a disposição final desse resíduo. Pouco tempo atrás, ele era utilizado no aterramento para construção de fábricas e residências ou até mesmo despejados em banhados e aterros clandestinos. Contudo, atualmente tem-se maior controle de disposição final em aterros industriais. Moraes et al. (2013) e Brondino et al. (2014)

Conforme relatado a caracterização química deste resíduo é bastante importante considerando-se a quantidade e a diversidade de elementos potencialmente tóxicos que pode conter, tais como: arsênio, bário, chumbo, sódio, mercúrio, cloretos fluoretos, fenóis e surfactantes. Assim, o descarte incorreto pode causar grande impacto ambiental. Brondino et al. (2014) e Casotti et al. (2011)

Em termos de legislação, a Central de Processamento, Armazenamento e Destinação (CPAD), trata de normativas para o destino e gestão desse resíduo. A NBR 15702 foi formada com a junção de três normas já existentes, que regulamentam sobre a gerenciamento de construção de aterros, armazenamento temporário, e o uso da areia de fundição para asfaltos e cobertura de lixões. ABNT 15702 (2009) e CONAMA (2002)

### 3.5.3 RESÍDUOS – PÓ DE FERRO

Após a peça sair do molde feito a partir da areia de fundição, as formas indesejáveis passam por um processo de rebarbação, o qual confere a peça a forma, a dimensão e acabamento desejado. Deste processo, tem-se outro resíduo sólido, chamado pó de ferro. Casotti et al. (2011)

A legislação brasileira ABNT determina para a areia de fundição e para o pó de ferro, o descarte é em aterros industriais. Contudo, acredita-se que esses resíduos apesar do potencial de contaminação, podem ser recuperados, regenerados e reutilizados. ABNT (2004b)

### 3.6 ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS NO MEIO AMBIENTE

Elementos potencialmente tóxicos são aqueles que podem vir a interagir com o meio ambiente causando danos irreversíveis para a fauna, flora e aos seres vivos, causando até a morte. Olivier et al. (2008)

Os principais elementos que serão tratados neste trabalho são o zinco (Zn), o níquel (Ni), elementos essenciais para a manutenção da saúde humana, bem como das plantas e animais. O chumbo (Pb) que é considerado não essencial e que pode causar danos à saúde, mesmo em concentrações baixas. Diferente da matéria orgânica a maioria dos elementos não sofre degradação e com o tempo, a tendência é se acumularem se tornando nocivos a plantas e seres vivos. As concentrações consideradas tóxicas para homens e plantas são dadas na Tabela 1. Gaivizzo (2001) e Olivier et al. (2008)

<b>Elemento</b>	<b>Humanos</b>	<b>Plantas</b>
	mg dia <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup> - (peso seco)
<b>Zn</b>	600	500-1500
<b>Ni</b>	20	50-100
<b>Pb</b>	1	-

**Tabela 1: Concentrações tóxicas de elementos potencialmente tóxicos aos humanos em níveis máximos tolerados na dieta diária, e fitotóxica para as plantas. (GAIVIZZO, 2001)**

O Zn é importante para o ser humano, pois têm envolvimento em um grande número de enzimas ou como estabilizador da estrutura molecular. No entanto, sua ausência pode causar defeitos congênitos e reprodutivos. Esse elemento é encontrado em alimentos em pequenas quantidades, mas sua principal fonte ocorre pela ingestão da água, uma vez que pode vir a contaminar as águas e lençóis freáticos devido sua solubilidade nesse meio. O Zn pode aumentar a acidez da água, e se acumular nos peixes, causando problemas de bioacumulação na cadeia alimentar. World Health Organization (1996)

O Ni é outro metal essencial aos seres vivos principalmente para os seres humanos, porém tanto a sua ausência quanto o excesso podem causar doenças. Quando depositado no meio ambiente ficará imóvel absorvido pelos sedimentos, porém sua mobilidade é alterada com o pH, em valores muito baixo este elemento apresenta maior mobilidade, podendo se espalhar em águas subterrâneas. Wuana; Okieimen (2011)

O Pb, não é um elemento essencial ao desenvolvimento dos seres vivos, é encontrado de muitas formas químicas no ambiente, é frequentemente utilizado pelas indústrias combinados inúmeras formas. Está presente em diversos produtos, contudo é extremamente tóxico, pois apresenta efeito acumulativo não só em seres humanos, mas também em toda a cadeia alimentar. A intoxicação geralmente ocorre por inalação e ingestão. Em geral, o Pb se acumula nos órgãos como o cérebro, e pode levar ao envenenamento ou até morte. O trato gastrointestinal, rins, e sistema nervoso central são afetados pela acumulação, adultos geralmente têm perda de memória, náusea, insônia, anorexia e fraqueza das articulações, crianças em crescimento com contato ao Pb correm risco de desenvolvimento prejudicado, menor



tempo de atenção, hiperatividade e deterioração mental. Gaivizzo (2001) e World Health Organization (1996)

A fundição de minérios gera resíduos de elementos potencialmente tóxicos que quando depositados nos solos podem vir a se tornar altamente tóxicos. Pois, o solo é um sistema aberto, bastante heterogêneo, o que em alguns casos pode propiciar a mobilidade ou a absorção dos elementos, causando prejuízos para biota presente. Quando adsorvido pode ocorrer reações rápidas que levam de minutos a horas, ou lentas que levam dias ou até anos. Neste processo, os elementos podem transformar-se quanto a sua forma química, podem ocorrer reações de precipitação e dissolução de minerais, troca iônica, adsorção e dessorção, complexação aquosa, imobilização e mobilização biológica. As reações e mobilidade podem variar dependendo de fatores, como a, quantidade de matéria orgânica, oxidação, pH entre outros fatores que estão presentes no meio. Costa et al. (2007) e Wuana; Okieimen (2011)

Na tentativa de anular os efeitos tóxicos desses elementos potencialmente tóxicos, pode-se empregar um conjunto de técnicas compostas por processos que geralmente são caros, e que ainda podem interferir na produtividade do solo. Wuana; Okieimen (2011)

Um estudo realizado em uma indústria de mineração já desativada, considera a escória um material comprometedor do ponto de vista ambiental, pois mostrou que a escória, quando depositada próximo aos rios e por um longo período de tempo, pode elevar os teores de Pb e Zn nos sedimentos. Isso acontece, devido ao fato deste material ser facilmente fragmentado pelo atrito durante seu transporte pela drenagem e com isso incorporado ao sedimento em suspensão, tornando-o disponível para ser absorvido pelos organismos. Guimarães; Sígolo (2008)

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 AMOSTRAS**

Os resíduos industriais, que compõe as amostras analisados neste trabalho, foram escória de fundição, areia de fundição e pó de ferro e foram coletados em uma empresa de Fundição localizada na Região Sudoeste do Paraná. Para garantir o sigilo a empresa será denominada de empresa A.

### **4.2 COLETA**

As amostras foram coletadas quinzenalmente, entre os meses de outubro e dezembro de 2019. As coletas foram realizadas nos dias: 15/10/19, 28/10/19, 13/11/19, 29/11/19 e 16/12/19 respeitando os critérios de amostragem da ABNT (2004b).

Para a caracterização foi coletado uma alíquota com cerca de 500 g de cada amostra, que foi identificada e armazenada em recipientes plásticos.

### **4.3 PREPARO DAS AMOSTRAS**

As amostras foram secas a temperatura a 60 °C em uma estufa de circulação de ar forçado, durante 24 horas. ABNT (2004)

Em seguida foram passadas em uma peneira de abertura de malha de 250 µm, para obtenção de uma granulometria homogênea.

O resíduo da escória foi moído durante 1 hora em moinho de bolas da marca Servitech Moinho CT-242, antes da etapa de peneiramento.

### **4.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS**

Para a caracterização das amostras foram determinados principalmente pelas análises de resíduos mineral fixo, FAAS, a análise granulométrica. Para fins de um melhor destino final foi realizados análises mais voltas para reutilização sendo elas: o comportamento magnético, XRD e a análise elementar.

#### **4.4.1 RESÍDUOS MINERAL FIXO**

Para determinação dos resíduos mineral fixo, anotou-se a massa dos cadinhos vazios, em seguida adicionou-se 1,00 g de amostra em cada cadinho de

porcelana e anotou-se a massa (massa inicial). Este procedimento foi realizado em triplicata, para cada resíduo de cada coleta. Calcinou-se em forno mufla a 600 °C durante 2 horas. Após calcinada a amostra e o cadinho contendo as amostras foi transferido para um dessecador para resfriar. Após o resfriamento à temperatura ambiente, foi então determinada a massa novamente (massa da amostra calcinada + massa do cadinho), subtraiu-se então a massa do cadinho obtendo-se assim a massa da amostra (massa final). Estes valores de massa foram empregados no cálculo do teor de cinzas segundo a equação 1: Moita, Graziella Ciaramella; Neto (2010)

**Equação 1: Percentual de Massa Perdida.**

$$\text{Perda de Massa (\%)} = \frac{\text{Massa inicial (g)} - \text{Massa Final (g)}}{\text{Massa Inicial (g)}} \times 100 (\%)$$

Após calculou-se a perda de massa média para cada amostra, o desvio padrão segundo a equação 2, e o coeficiente de variação (CV): Moita, Graziella Ciaramella; Neto (2010)

As amostras calcinadas foram armazenadas em microtubos de centrífuga do tipo Eppendorf e identificadas.

#### 4.4.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

As amostras também foram caracterizadas por XRD, vem da sigla do inglês X-ray diffractometry (XRD), é uma técnica utilizada para caracterização de materiais, consiste em um fenômeno físico, em que raios-X são incididos sobre a amostra e a interação com os átomos presentes nessa amostra, podem causar interferência no feixe de raios-X, originando o fenômeno da difração, determinam-se os ângulos em que estes raios são difratados pela amostra, foi empregando um difratômetro de raios-X da marca Rigaku Mini flex 600. Jeffery (1957)

As análises foram realizadas sob as condições: amplitude angular de  $2\theta$ , intervalo de medida entre 2 a 100°, velocidade de 1,0° min<sup>-1</sup> e voltagem de 40 kV e 15 mA, fonte de radiação  $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ . segundo a metodologia descrita por Carnin (2008) com modificações.

### 4.4.3 ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA

#### 4.4.3.1 DIGESTÃO DAS AMOSTRAS

Todas as vidrarias empregadas na digestão das amostras foram desmineralizadas em banho de HNO<sub>3</sub> 10%, durante 24 horas. Após foram enxaguadas com água MILIQ e secas à temperatura ambiente.

Para a digestão das amostras seguiu-se a metodologia descrita por Santos (2018) com modificações. Assim, uma alíquota da amostra calcinada, 0,250 g de foi adicionada em tubos de digestão, em seguida adicionou-se 2,5 mL de HNO<sub>3</sub> P.A e 5 mL de HCl P.A, e deixou-se durante 1 hora a uma temperatura de 160 °C em um bloco digestor. Posteriormente adicionou-se 2,5 mL de HNO<sub>3</sub> P.A e 2,5 mL de HCl P.A, levou-se ao bloco novamente até a evaporação quase total. Em seguida solubilizou-se a solução contida no tubo com a adição de 2 mL de HCl, transferiu-se para um tubo Falcon e completou-se o volume com água MILIQ até 14 mL.

Reservou-se em geladeira para posterior análise. Esse procedimento foi realizado em triplicata para cada amostra.

#### 4.4.3.2 QUANTIFICAÇÃO DOS TEORES DE Pb, Zn e Ni

O FAAS, foi calibrado com o uso de uma curva padrão de Pb, Zn e Ni nas concentrações, 5, 10, 15, 20 e 25 ppm. A quantificação foi realizada utilizando o equipamento de espectroscopia de absorção atômica com chama da marca Perkin Elmer Pinaacle 900T, equipado com lâmpada de catodo oco, procedimento realizado na Central de Análises.

#### 4.4.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica da areia de fundição e pó de ferro, foi realizada após secagem a temperatura ambiente e seguindo a metodologia sugerida por Teixeira et al. (2018) com modificações.

Para isso, utilizou-se cinco peneiras padronizadas escolhidas com abertura de malha de 4,00; 0,8; 0,71; 0,42 e 0,25 mm, no qual foi aferido o peso de cada peneira. Foram depositados em média 500 g do resíduo (massa total), separadamente para cada um, em um tempo de tamisação de 5 minutos. Após, a massa de cada fração da amostra foi mensurada por peneira e o valor anotado.

Foi então determinada a massa do material depositado sobre cada peneira (massa retida na peneira), e a partir destes valores foram calculados os percentuais de cada peneira conforme a equação 2:

**Equação 2: Massa Percentual.**

$$\text{Massa Percentual (\%)} = \frac{\text{Massa Retida na Peneira (g)}}{\text{Massa Total (g)}} \times 100 (\%)$$

#### 4.4.5 COMPORTAMENTO MAGNÉTICO

O comportamento magnético foi realizado segundo a metodologia descrita por Santos (2018) com algumas modificações. Após secagem em estufa, foi separada uma alíquota de 200 g de amostra. Em seguida essa massa foi depositada sobre a superfície de um papel de filtro e submetida à ação do campo magnético super ímã, foi observado se existia ou não susceptibilidade magnética.

#### 4.4.6 ANÁLISE ELEMENTAR

Os teores totais de carbono e nitrogênio das amostras foram determinados nas amostras antes da calcinação e após a calcinação, para a primeira coleta sendo E1, AF1 e PF1 e da última coleta sendo, E1, AF1 e PF5. Por combustão a seco usando um analisador elementar modelo Flash EA1112, Thermo Electron Corporation, Milan, Italy.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 PROCESSOS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS

As visitas realizadas a empresa A, para as coletas das amostras permitiram conhecer o processo de fundição, no qual foi explicado detalhadamente pela empresa e é reproduzido logo a abaixo na Figura 1.

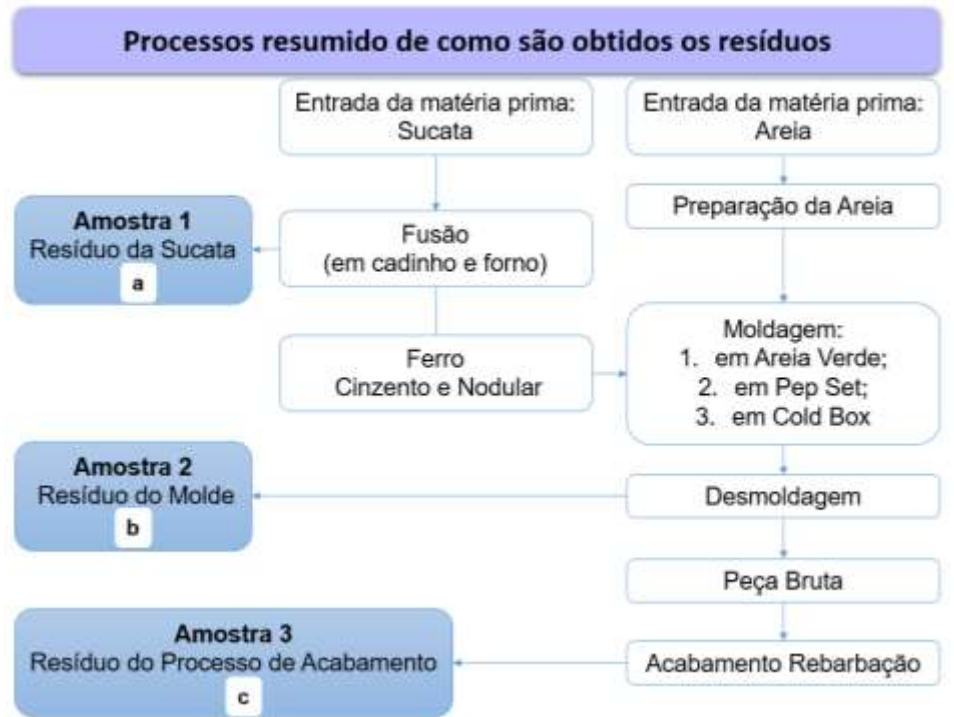


Figura 1: Processo resumido de como são obtidos os resíduos escória de fundição (a), areia de fundição (b) e pó de ferro (c). (Autoria própria)

A empresa A produz duas categorias de ligas metálicas: a liga de ferro cinzento e ferro nodular. O ferro cinzento é uma liga de ferro fundido com silício e carbono, na qual uma parte do carbono estará livre na forma grafita, e outra parte está no estado combinado com ferro. A liga de ferro nodular, diferencia-se do ferro cinzento, pois é realizado um tratamento em estado líquido, e o carbono livre fica em forma de grafita esferoidal. Ambos são fundidos a partir de sucata.

O processo de fundição consiste em liquefazer a matéria-prima que, nesse caso são sucatas de materiais ferrosos. Para isso, são colocadas em cadinhos industriais, os quais são inseridos em um forno de indução. Neste procedimento, o metal fica na parte inferior, enquanto que as impurezas ficam na parte superior,

devido à diferença de densidade entre os mesmos. Esse resíduo é denominado escória de fundição (Figura 1a).

O metal líquido vai para o molde, para assim adquirir a forma desejada. Utilizam-se três tipos de moldagem: a moldagem em areia verde, moldagem em Pep Set, moldagem Cold Box, que se diferenciam pela forma e tamanho final do produto, pelo tratamento realizado na areia. Estas, utiliza-se como base grandes quantidades diárias de areia, que é um recurso não renovável.

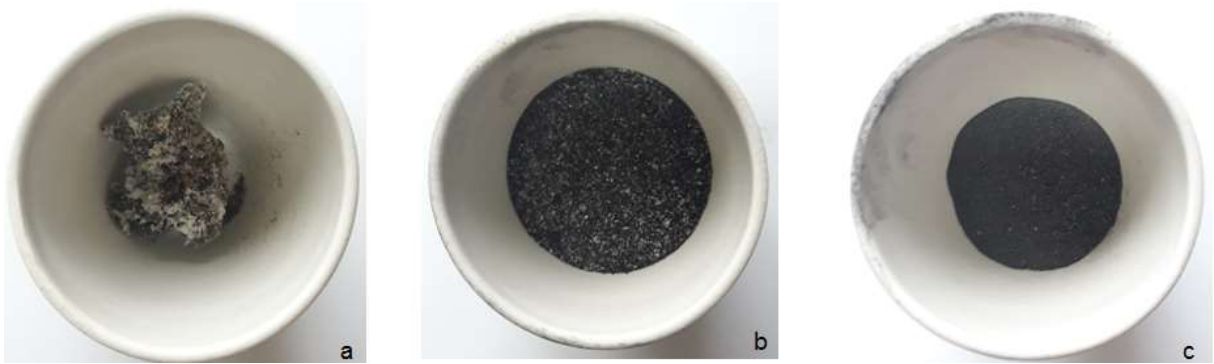
O molde em areia verde, é composto de areia sílica com agentes aglomerantes. Estes aglomerantes são uma mistura de elementos, sendo eles bentonita, pó de carvão, amido de milho e água. Essa areia de fundição é colocada em uma caixa de compensado e Araudite. Sob a mistura de areia é colocada uma peça semelhante que dará o formato desejado ao metal líquido, e assim é colocado o metal líquido no molde, deixando-se até solidificar. Após ser retirado o produto de interesse, tem-se o segundo resíduo denominado de areia de fundição (Figura 1b).

Para a moldagem Pep Set, utiliza-se uma caixa de compensado, uma mistura de areia com resina e um catalisador líquido para enrijecer o aglomerado. A resina também proporciona um processo de cura mais lento ao metal líquido.

Para a moldagem em Cold Box, utiliza-se uma caixa de compensado, a areia após o molde é colocada em câmara de gás para catalisar a areia, com isso desmolda-se a areia, que é encaminhada a linha de vazamento, após é colocado o metal, espera-se solidificar retirando do molde.

Em geral, uma parte da areia de fundição é destinada à construção civil, outra é reutilizada pela empresa no mesmo processo, sendo novamente adicionado aditivos aglomerantes e água para sua reutilização, após ser várias vezes reaproveitada é descartada em aterros industriais.

Por fim, é realizado o acabamento do produto, com o emprego de lixas. O resíduo sólido, chamado de pó de ferro (Figura 1c), é produzido no melhoramento do acabamento da peça pela rebarbação, e é destinado a aterros industriais.



**Figura 2: Resíduos escória de fundição (a), areia de fundição (b) e pó de ferro (c). (Autoria própria)**

Os resíduos, escória de fundição, areia de fundição e pó de ferro, seguem a NBR 10004, que é a principal norma quando trata-se de resíduos sólidos indústrias, ela orienta como procedemos com as categorias de resíduos, quais são as preocupações e restrições.

A partir dessa normativa começamos a estudar os resíduos para atribuir suas classificações. Para isso segue um passo-a-passo, inicialmente deve-se saber a origem dos resíduos, que é conhecida para às três amostras citadas anteriormente.

Após é necessário conhecer os anexos, sendo o anexo A que diz respeito a resíduos perigosos de fontes não específicas e o anexo B que está ligado a resíduos perigosos de fontes específicas, caso alguns dos resíduos conste nesses anexos são considerados perigos, classe I. Como nenhum deles está listado, seguimos para a próxima etapa, no qual diz respeito as seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Através de outras literaturas, e dos testes realizados no laboratório, sabe-se que os resíduos, escória de fundição e pó de ferro não apresentam essas características, sendo assim são classificados na Classe II conforme a normativa, não foi possível determinar suas subclasses devido alguns problemas. Olivier et al. (2010); Brondino et al. (2014) e Moraes et al. (2013)

Nessa norma também temos um anexo H que diz respeito a alguns resíduos classificados como não perigosos onde a areia de fundição está listada.

Quanto aos valores médios obtidos a partir da empresa A, são produzidas semanalmente, 5 toneladas de areia de descarte, 100 kg de escória e 150 kg de pó de ferro. Os resíduos escória e areia de fundição são descartados em aterros, exceto a uma pequena parcela da areia de fundição que é encaminhada a construção civil, ainda sua maior parte acaba em aterros industriais. ABNT (2004a)



## 5.2 AMOSTRAS

No total, foram obtidas 15 amostras, a partir de 5 coletas, segundo as instruções normativas da NBR 10007. A descrição completa das amostras é apresentada na Tabela 2: ABNT (2004b)

<b>Data da Coleta</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>15/10/2019</b>	Escória de Fundição	E1
	Areia de fundição	AF1
	Pó de ferro	PF1
<b>28/10/2019</b>	Escória de Fundição	E2
	Areia de fundição	AF2
	Pó de ferro	PF2
<b>13/11/2019</b>	Escória de Fundição	E3
	Areia de fundição	AF3
	Pó de ferro	PF3
<b>29/11/2019</b>	Escória de Fundição	E4
	Areia de fundição	AF4
	Pó de ferro	PF4
<b>16/12/2019</b>	Escória de Fundição	E5
	Areia de fundição	AF5
	Pó de ferro	PF5

**Tabela 2: Descrição das amostras de resíduos de fundição. (Autoria própria)**

## 5.3 RESÍDUO MINERAL FIXO

O resíduo mineral fixo foi realizado a fim de conhecer a composição dos resíduos e auxiliar a achar uma melhor disposição. Durante a calcinação da amostra a 600 °C, grande parte orgânica é transformada em CO<sub>2</sub> restando somente a parte mineral e inorgânica dos resíduos. Com base nisso, os valores das massas inicial e final empregou-se na equação 1 permitiram determinar o teor de cinzas das amostras (Tabela 3).

<b>Resíduo Mineral Fixo (%)</b>					
<b>E1</b>	1,1 ± 0,3	<b>AF1</b>	3,3 ± 0,4	<b>PF1</b>	*
<b>E2</b>	5 ± 2	<b>AF2</b>	2,8 ± 0,2	<b>PF2</b>	*
<b>E3</b>	6 ± 3	<b>AF3</b>	2,54 ± 0,06	<b>PF3</b>	*
<b>E4</b>	0,7 ± 0,7	<b>AF4</b>	2,31 ± 0,05	<b>PF4</b>	*
<b>E5</b>	0,3 ± 0,3	<b>AF5</b>	2,8 ± 0,2	<b>PF5</b>	*
<b>CV</b>	48,0 %	<b>CV</b>	7,8 %		

**Tabela 3: Resíduos mineral fixo, a média aritmética e desvio padrão amostral (média ± desvio padrão), coeficiente de variação (Cv) para os resíduos, resultados obtidos pelo método da mufla. (Autoria própria)**

\*

$n = 3$

média ± desvio padrão

Os resíduos minerais fixo das amostras de escória de fundição variaram de  $0,3 \pm 0,3$  a  $6 \pm 3\%$ . Esse resultado mostra alta variabilidade entre os valores de cinzas em função da data da coleta, e também uma alta variabilidade entre as amostras de uma mesma coleta. Essa alta variabilidade pode ser devida a variação na matéria-prima, uma vez que é obtida de diferentes sucatas de ferro, oriundo de diferentes lugares. Os altos valores de DP (3) e CV (48,0) permitem confirmar a alta heterogeneidade das amostras de escória de fundição.

Menor variabilidade foi observada nos teores de cinzas da areia de fundição (CV = 7,8). Esse indica maior homogeneidade entre às amostras de areia, se comparada as amostras de escória, uma vez que também apresentaram menores valores de DP (0,06 a 0,4) (Tabela 3).

A análise visual das amostras da areia de fundição após calcinação, permitiu observar a mudança de coloração das mesmas decorrente provavelmente da submissão da amostra ao tratamento térmico, 600 °C. Segundo a literatura, entre a temperatura ambiente até a 110 °C ocorre a eliminação de água livre presente na amostra, a partir de 110 a 550 °C considera-se que nessa faixa de temperatura a massa perdida é referente a matéria orgânica. Com isso, acredita-se que a alteração de cor da amostra ocorreu devido à perda da matéria orgânica. Rodella; Alcarde (1994)

Não foi possível determinar a massa do resíduo de pó de ferro, foi observado que antes da calcinação os resíduos de todas as coletas se apresentavam em pó,

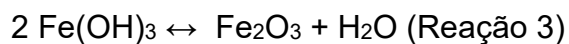
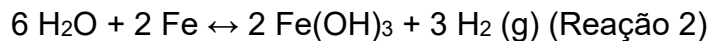
após serem retirados da mufla compactado, dificultando até colocá-los nos microtubos de centrífuga do tipo Eppendorf, devido à compactação.

Segundo Binder (1996) com o aquecimento das amostras a 600 °C pode ter ocorrido a formação de óxidos mistos, magnetita ou hematita, que são óxidos que se formam facilmente em condições como as que foram aplicadas para o experimento. As formações descritas acima podem ocorrer quando tem-se:

(1) condições térmicas superiores à fusão da água 100 °C, e inferior a 570 °C. Neste caso, o óxido de ferro pode reagir com a água e produzir a magnetita mais gás hidrogênio, como mostra a reação 1: Binder (1996)



(2) uma temperatura menor que 100 °C, na qual pode ocorrer a reação entre a água no estado líquido e o ferro para a formação do hidróxido de ferro conforme a reação 2. Com a elevação da temperatura pode ocorrer a decomposição e a formação de óxido de ferro (III) como mostra a reação 3: Binder (1996)



Esse processo de formação de magnetita é aplicado em peças metálicas sintetizadas para aumentar sua resistência, e ter menores desgastes, entre outros benefícios que pode trazer com a formação do filme de magnetita. Outros trabalhos na literatura tais como Abreu (2017) e Pereira; Martins (2008), mostram diferentes métodos de sínteses da magnetita, tanto em atmosfera oxidante e em gás inerte, suas diferentes e largas aplicações, e evidenciam sua importância industrial. Ortiz (2000) estudou a partir de um resíduo rico em magnetita utilizá-lo como um material adsorvente não convencional para adsorção de elementos potencialmente tóxicos.

#### 5.4 XRD

A partir do difratograma de XRD pode-se identificar possíveis elementos presentes, assim podendo encontrar uma possível aplicação. Os difratogramas das amostras foram obtidos a partir das amostras de escória de fundição (Figura 3),

areia de fundição (Figura 4) e pó de ferro (Figura 5) oriundas da primeira e da última coleta. Estes foram tratados com o auxílio de um banco de dados do software: X'Pert HighScore. Jeffery (1957)

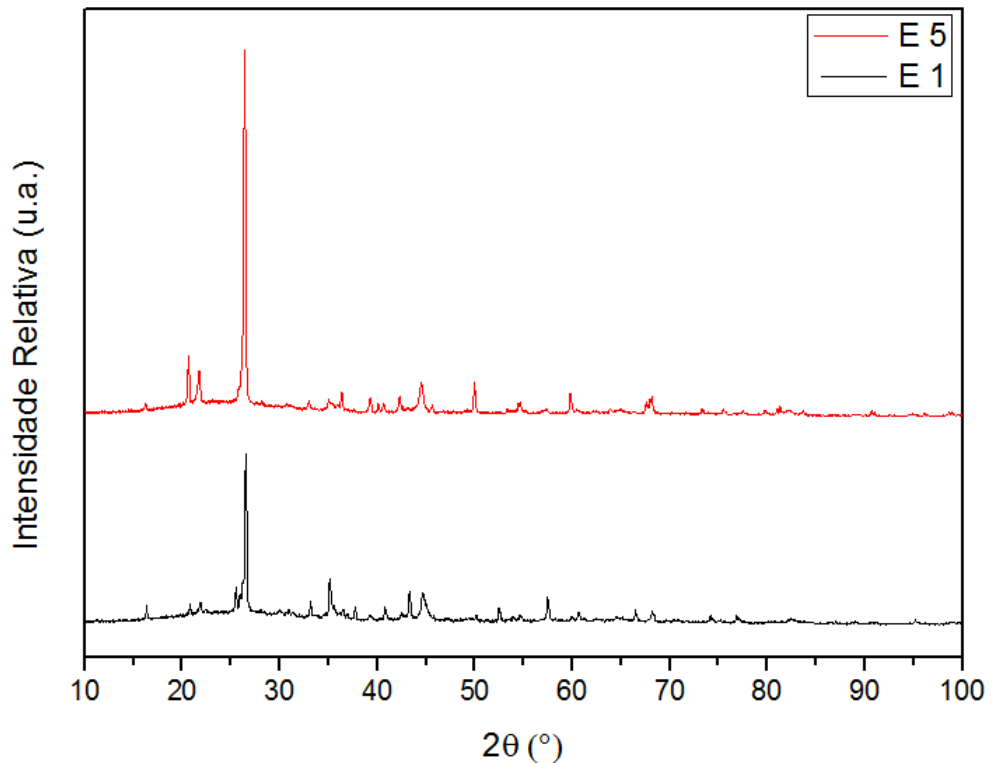


Figura 3: Difratogramas das amostras de escória, (-) E1 e (-) E5. (Autoria própria)

A amostra de escória, E1, apresentou duas fases, (1) a fase referente ao Óxido de Alumínio,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (01-078-2426) apresentando pico de difração característicos em  $2\theta = 35^\circ, 37,5^\circ, 43^\circ, 52,5^\circ, 57,5^\circ, 66,6^\circ, 68^\circ$ , e a (2) fase do Dióxido de Silício,  $\text{SiO}_2$  (01-085-0798), apresentando pico de difração mais intenso do difratograma em  $2\theta = 26,5$  (Figura 3).

Na amostra de escória, E5, identificou-se a (1) fase do Fosfato de Alumínio,  $\text{AlPO}_4$  (01-084-0853) pico de difração em  $2\theta = 26^\circ$  sendo o pico mais intenso do difratograma, e em  $2\theta = 50^\circ$ , e a (2) fase do Dióxido de Silício  $\text{SiO}_2$  (01-082-0512) com pico em  $22^\circ$ . Observa-se que somente um pico presente em ambos os difratogramas se assemelham, o resto são distintos, isso é devido os materiais ferrosos, sucatas, serem de diferentes tipos de ligas metálicas.

Nos difratogramas das amostras de areia de fundição, AF1 e AF5, observou-se a presença de materiais cristalinos (Figura 4).

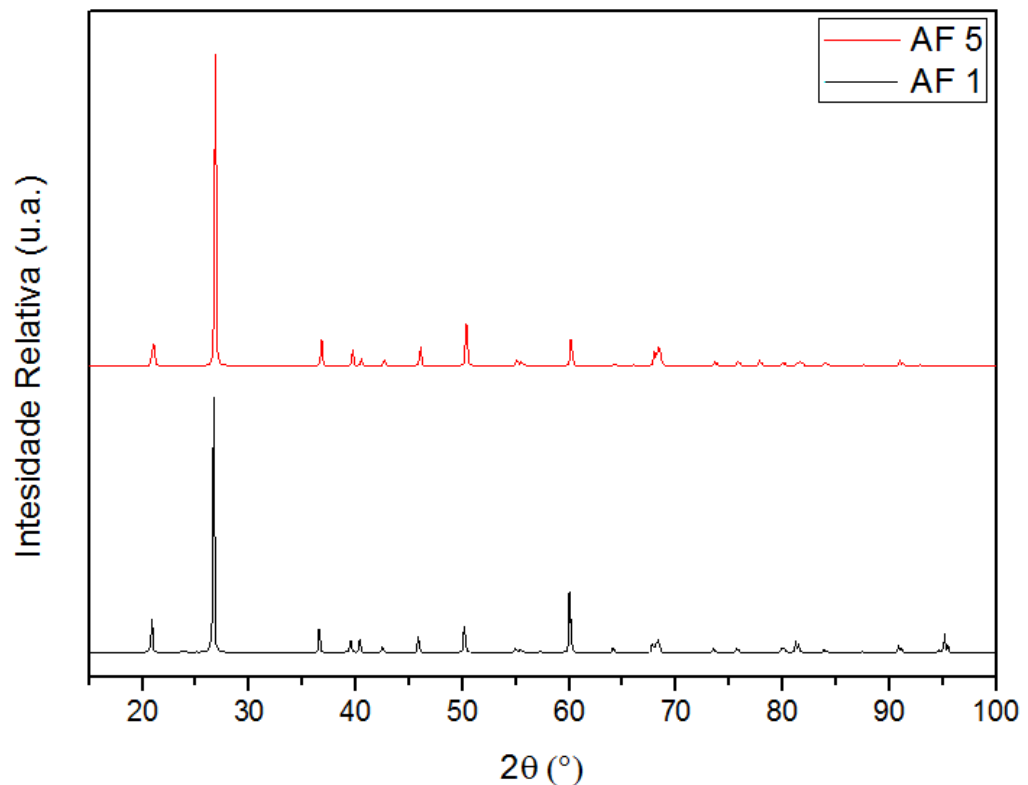


Figura 4: Difratomogramas das amostras de areia de fundição, (-) AF1 e (-) AF5. (Autoria própria)

De modo geral, as amostras AF1 e AF5 não apresentam diferenças qualitativas, isso devido ser grande parte referente a areia, essa areia utilizada em indústrias de fundição geralmente se exige que tenha uma granulometria homogênea e elevada pureza para que não apresente problemas nos produtos da fundição. Devido a isso sua composição não difere de uma amostragem para a outra apenas nas intensidades dos sinais. Ambas as amostras apresentaram uma fase sendo referente ao Dióxido de Silício,  $\text{SiO}_2$  (01-085-0795) pico de difração em  $2\theta = 20,8^\circ$ , o pico mais intenso do difratograma em  $2\theta = 26,5^\circ, 36,5^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ . A areia de fundição é grande parte composta por  $\text{SiO}_2$ , portanto já eram esperados esses picos presentes. Gomes et al. (2018)

Na figura 9 é apresentado o difratograma das amostras de pó de ferro.

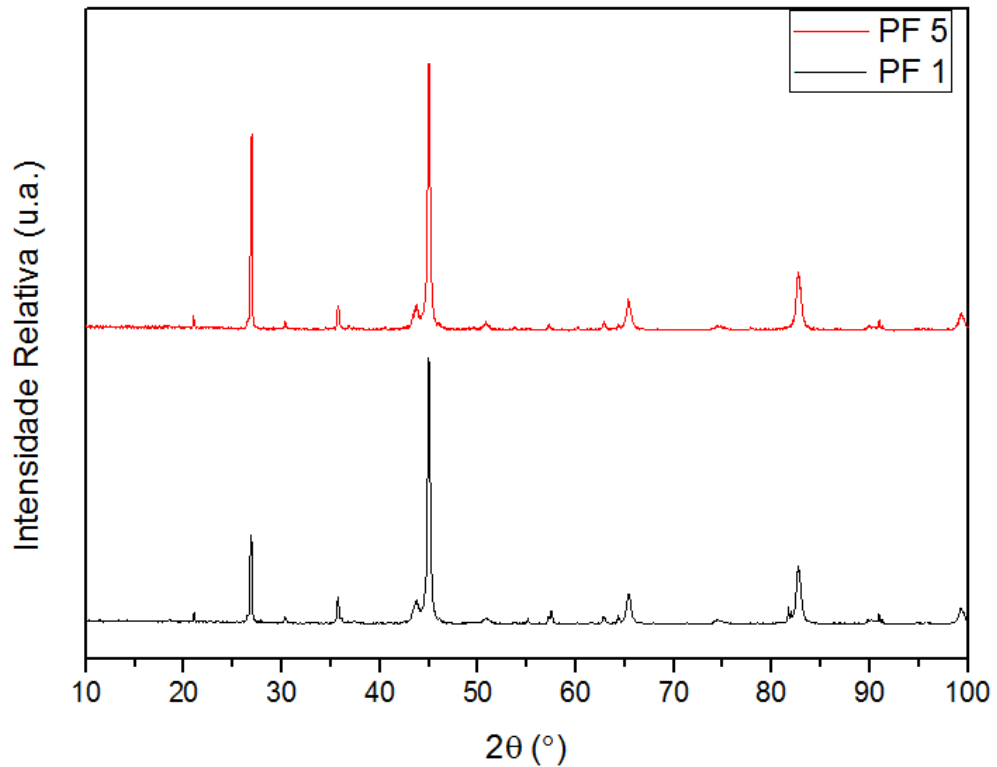


Figura 5: Difratomogramas das amostras de pó de ferro, (-) PF1 e (-) PF5. (Autoria própria)

No difratograma da amostra PF1, observou-se três fases: (1) a primeira com maior compatibilidade chamada de óxido de zinco níquel cromo e ferro com fórmula química  $Zn_{0.5}Ni_{0.5}FeCrO_4$  (00-043-0555),  $2\theta=30^\circ, 35,5^\circ, 57^\circ, 63^\circ$ , (2) a segunda fase foi a  $Zn_{0.3}Cu_{0.35}In_{0.35}Se$  (00-050-1240), com picos característicos em  $2\theta=26,5^\circ$ , e (3) a terceira, caracterizada pelo pico de maior intensidade é referente a fase do Ferro, Fe (00-001-1267) localizado em  $2\theta=45^\circ$ .

No difratograma da amostra PF5 observou-se a mesma fase da amostra PF1, referente a fase do óxido de zinco níquel cromo e ferro (00-043-0555). Porém, observaram-se algumas mudanças no pico encontrado em  $2\theta=30,5^\circ, 35,5^\circ, 54^\circ, 57,5^\circ$  e  $63^\circ$ . O pico mais intenso continuou sendo o referente a fase do ferro. Teve compatibilidade uma nova fase Óxido de Silício tendo picos  $2\theta= 21,5^\circ$  e  $27^\circ$ .

Em comparação as duas coletas observam-se entre  $2\theta= 82,0^\circ$  e  $85,0^\circ$  o PF1 não tem o mesmo pico que o PF5, sendo assim indicando que eles podem conter materiais distintos. Pelo difratograma do pó de ferro ter apresentado picos de ferro, acredita-se que com as condições semelhantes durante a calcinação das amostras, possa a vir a confirmar a formação desses óxidos mistos a partir desses elementos presentes na amostra.

Os difratogramas do PF5 (Figuras 5) os resultados corroboram com os obtidos por meio do teste de susceptibilidade magnética no qual será discutido à frente, o qual indicou que o material continha elemento com magnetismo.

### 5.5 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE Ni, Pb E Zn

As determinações foram realizadas através do FAAS sendo um método de análise empregado para determinar qualitativa e quantitativamente a presença de elementos potencialmente tóxicos. Abaixo são apresentados os teores, a metodologia que foi utilizada tinha como objetivo obter teores totais, mais ao final da digestão foi observado que as amostras não foram digeridas por completa, devido a isso foi conseguido quantificar os teores “pseudo totais”

de Ni, Pb e Zn das amostras da escória de fundição, areia de fundição e pó de ferro na Tabela 2. Elwell; Gidley (1966)

Amostra	Ni	Pb	Zn
	mg g <sup>-1</sup>		
<b>E1</b>	222. 10 <sup>3</sup> ± 43	111. 10 <sup>3</sup> ± 64	481. 10 <sup>3</sup> ± 31
<b>E2</b>	n.d.	17. 10 <sup>3</sup> ± 6	76. 10 <sup>3</sup> ± 4
<b>E3</b>	66. 10 <sup>3</sup> ± 16	66. 10 <sup>3</sup> ± 56	231. 10 <sup>3</sup> ± 51
<b>E4</b>	32. 10 <sup>3</sup> ± 65	73. 10 <sup>3</sup> ± 12	205. 10 <sup>3</sup> ± 9
<b>E5</b>	83. 10 <sup>3</sup> ± 5	253. 10 <sup>3</sup> ± 19	286. 10 <sup>3</sup> ± 20
<b>A1</b>	18. 10 <sup>3</sup> ± 6	n.d.	53. 10 <sup>3</sup> ± 20
<b>A2</b>	n.d.	n.d.	45. 10 <sup>3</sup> ± 14
<b>A3</b>	n.d.	n.d.	50. 10 <sup>3</sup> ± 15
<b>A4</b>	n.d.	n.d.	42. 10 <sup>3</sup> ± 11
<b>A5</b>	n.d.	n.d.	30. 10 <sup>3</sup> ± 4
<b>P1</b>	418. 10 <sup>3</sup> ± 34	18. 10 <sup>3</sup> ± 1	39. 10 <sup>3</sup> ± 5
<b>P2</b>	336. 10 <sup>3</sup> ± 13	2. 10 <sup>3</sup> ± 9	118. 10 <sup>3</sup> ± 5
<b>P3</b>	256. 10 <sup>3</sup> ± 16	9. 10 <sup>3</sup> ± 15	105. 10 <sup>3</sup> ± 22
<b>P4</b>	379. 10 <sup>3</sup> ± 8	18. 10 <sup>3</sup> ± 7	194. 10 <sup>3</sup> ± 29
<b>P5</b>	327. 10 <sup>3</sup> ± 8	18. 10 <sup>3</sup> ± 3	96. 10 <sup>3</sup> ± 2

Tabela 4: Teor de metais potencialmente tóxicos presentes nos extratos dos resíduos após a digestão dos resíduos sólidos indústrias.

n= 3

n.d. = não determinado

Para a amostra da escória os teores de Ni variaram de  $222. 10^3 \pm 43$  a  $32. 10^3 \pm 65$ , os teores de Pb variaram de  $253. 10^3 \pm 19$  a  $17. 10^3 \pm 6$ , e para o Zn os valores variaram de  $481. 10^3 \pm 31$  a  $76. 10^3 \pm 4$ , evidenciamos uma variação significativa entre as coletas, essa variação já era observada entre as coletas da escória já era evidenciada com a análise do teor de cinzas, reforçando a variabilidade da matéria-prima.

Os resíduos de pó de ferro apresentaram teores de Ni variaram de  $418. 10^3 \pm 34$  a  $256. 10^3 \pm 16$ , os teores de Pb variaram de  $18. 10^3 \pm 7$  a  $2. 10^3 \pm 9$ , e para o Zn os valores variaram de  $194. 10^3 \pm 29$  a  $96. 10^3 \pm 2$ .

De acordo com as concentrações “pseudo-totais” apresentados na Tabela 4 observou-se que para as amostras de escória e areia de fundição o Zn é o metal mais abundante, enquanto para o pó de ferro o metal que apresentou maiores concentrações foi o Ni.

Para algumas amostras o DP foi alto, o que pode indicar a ocorrência de erros mecânicos durante os procedimentos de digestão, ou erros durante a quantificação das amostras no FAAS.

Segundo a norma ABNT 10004 de 2004, que trata sobre a classificação dos resíduos sólidos, de acordo com o anexo G apresenta o limite máximo permitido pelo ensaio. No entanto, neste trabalho envolveu o procedimento para abertura de amostra empregando ácidos, o que explica a determinação dos teores de Pb, Zn e Ni, e por elas estarem altas e não poderem ser comparadas com a da legislação. ABNT (2004a)

Vale ressaltar que a ABNT possui referências normativas especificamente para extratos lixiviados e extratos solubilizados de resíduos sólidos, que são as NBR 10005:2004 e NBR 10006:2004, respectivamente, mas ambas seguem as mesmas concentrações máximas. ABNT (2004a) e ABNT (2004c)

Essa diferença metodológica aconteceu por causa que as análises era para ocorrer através da abertura total, e após seria realizado a extração sequencial no qual seria uma extração em água, como está na legislação, na sequência  $\text{CaCO}_3$  e por último em HCl, devido ao tempo ficará para futuros trabalhos.

De forma complementar, a Resolução CONAMA 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, estabelece que os níveis para lançamento de Ni, Zn e Pb em efluentes. Sabe-se que se trata de condições de



matriz diferente, resíduo sólido e efluente, no entanto, considera-se importante ressaltar sobre os padrões de lançamento considerando a possível lixiviação destes metais pela ação do tempo no solo, interação com o meio no qual está depositado, entre outros.

## 5.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A distribuição granulométrica apresenta a curva de distribuição granulométrica das amostras de areia de fundição e pó de ferro, são representadas na Figura 6 e 7.

Os trabalhos sobre análises granulométricas encontrados na literatura são referentes a solos e a construções civis. Com isso a análise destes dados é uma nova proposta com a finalidade de caracterizar as amostras antes de uma possível disposição final no solo ou reutilização na construção civil.

Devido a escória de fundição ter grande granulometria, e ter /sido moído, não foi possível realizar a distribuição granulométrica das amostras com as peneiras empregadas na análise da areia de fundição e pó de ferro.

Na figura 6 apresenta os resultados da análise da areia de fundição:

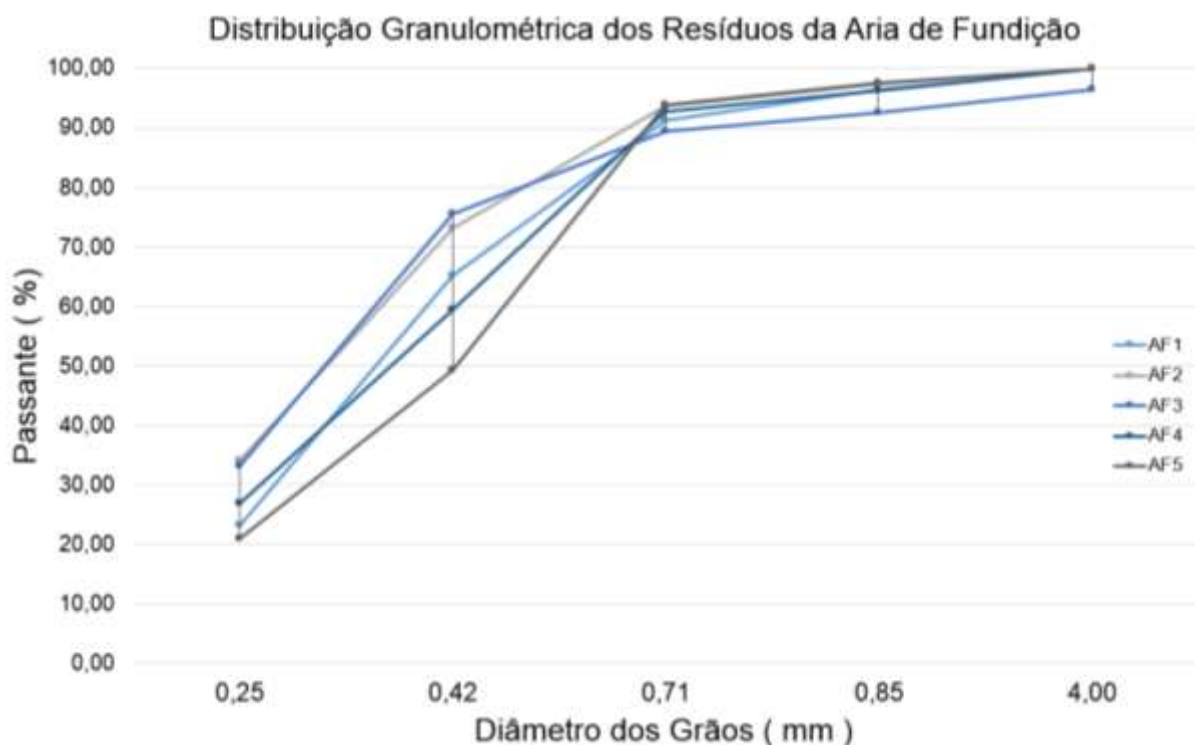


Figura 6: Distribuição granulométrica das amostras de areia de fundição. (Autoria própria)

As curvas das distribuições granulométricas da areia de fundição (Figura 4), mostram aparentemente comportamento similar para as amostras coletadas. Com

isso, observou-se distribuição uniforme da granulometria, e uma maior porcentagem de amostras retidas nas peneiras entre 0,25 e 0,42 mm.

Segundo a norma NBR 7211/2009, no qual diz respeito a composição granulométrica de agregados para incorporação em cimento, a areia de fundição é considerada agregado industrial, assemelhando-se com agregado miúdo devido sua granulometria.

Agregado miúdo é aquele que seus grãos passam pela peneira de 75 mm. Para ser considerado dentro da legislação deve-se ser de origem natural, a norma orienta outras antes da utilização em cimento. Mas através dessa análises podemos observar isto concorda, com a política de destinação final desse resíduo adotado pela empresa A, no qual já é destinando uma parte do resíduo de areia de fundição para a construção civil. ABNT (1987)

A distribuição granulométrica e a curva de distribuição granulométrica das amostras do pó de ferro, são representadas na Figura 7.

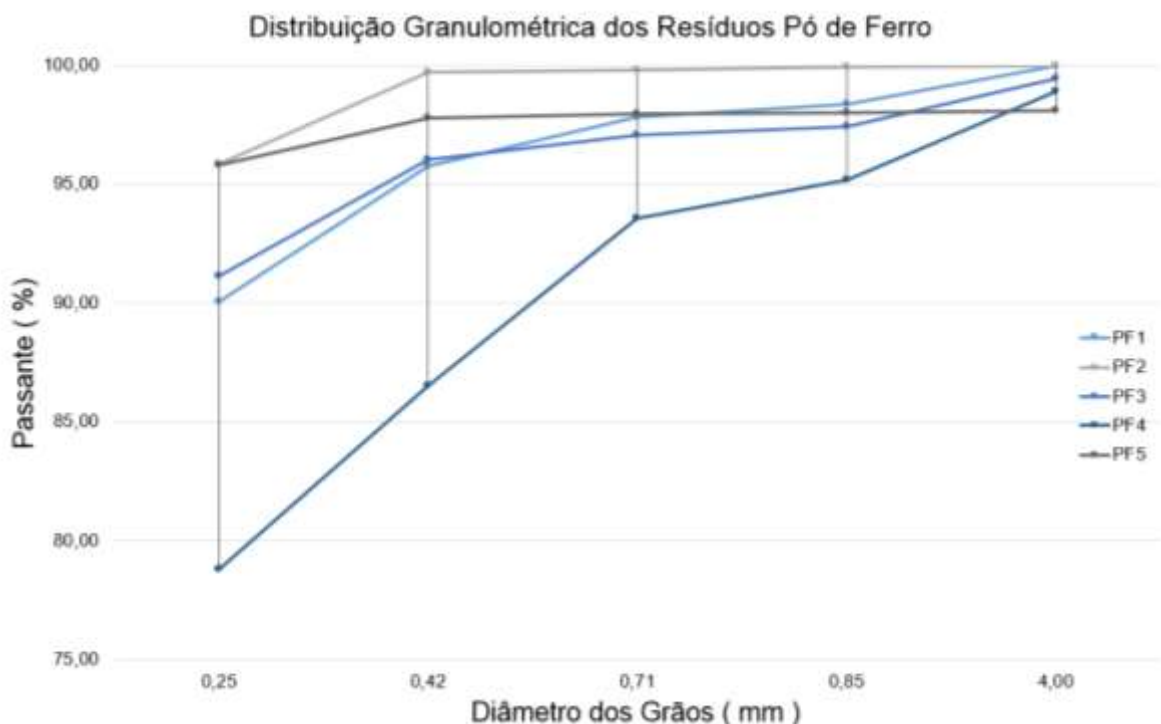


Figura 7: Distribuição granulométrica das amostras de pó de ferro. (Autoria própria)

A distribuição granulométrica das amostras de pó de ferro mostrou que o diâmetro das peneiras foi muito grande para as amostras, deste modo a maior porcentagem de material foi encontrada ao fundo (Figura 5). As porcentagens obtidas das mesmas foram altas devido (valores entre 78,82 e 95,87%), devido passar muita massa pelas peneiras. Quando comparado os valores entre as coletas

observou-se variabilidade, ou seja, comportamento distintos de uma coleta para outra.

Com isso, pode-se inferir que o pó de ferro não se encaixa na norma NBR 7211/2009, pois não é de origem natural. ABNT (1987)

## 5.6 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MAGNÉTICO

A análise do comportamento magnético visa conhecer propriedades dos resíduos. A Figura 8 ilustra a análise do comportamento magnético das amostras:

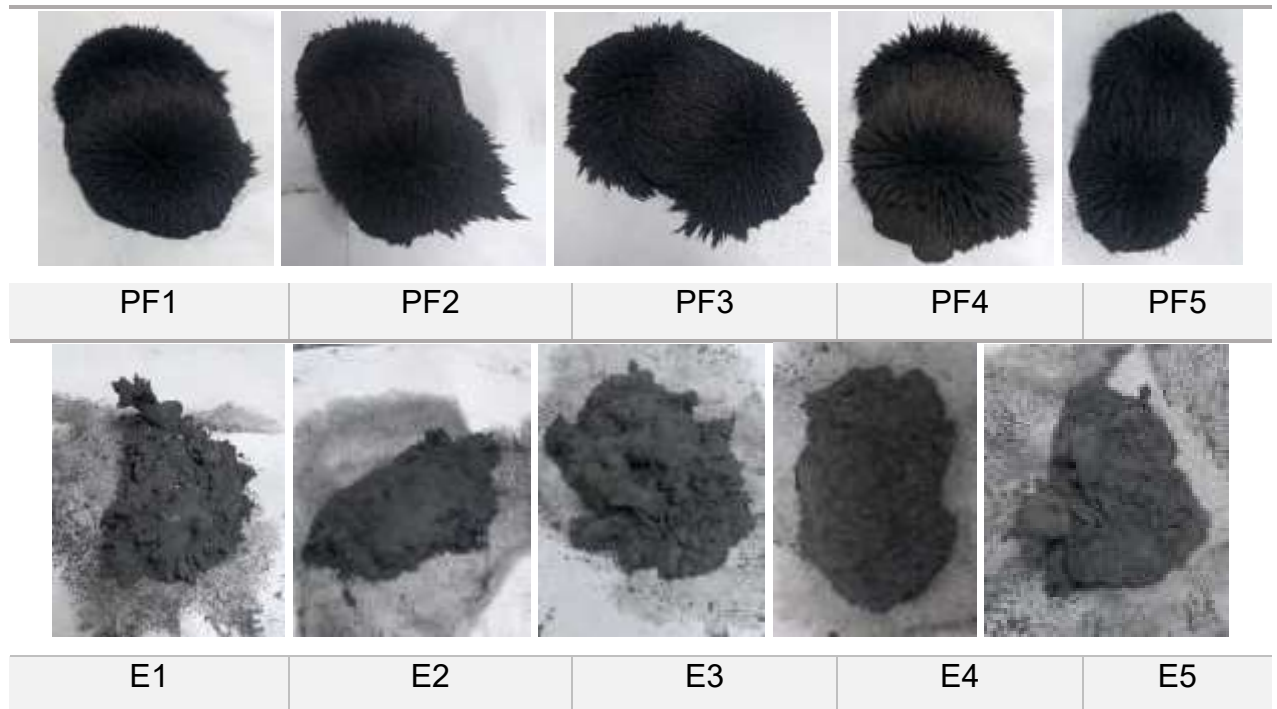


Figura 8: Análise do comportamento magnético das amostras PF1, E1, PF2, E2, PF3, E3, PF4, E4, PF5 e E5. (Autoria própria)

Os resultados permitem inferir que apenas os resíduos de escória de fundição e pó de ferro apresentaram susceptibilidade magnética, a areia de fundição não apresentou susceptibilidade (Figura 8).

Para todas as amostras de pó de ferro, PF1, PF2, PF3, PF4 e PF5 mesmo depois de ser retirado o super ímã, ainda era visível a atração, indicando que os mesmos são capazes de ter seu próprio campo magnético, isso está associado a estrutura atômica e molecular que o material é constituído. A atração entre o super ímã e os resíduos com a formação de um campo magnético confirmam que as amostras analisadas contêm átomos magnéticos. FARIA; LIMA (2005)

Para a indústria em especial a de eletrônicos, é muito usado matérias que apresentem comportamento magnético, visto isso seria uma possível aplicação, através de mais estudos sobre esse resíduo. FARIA; LIMA (2005)

## 5.7 ANÁLISE ELEMENTAR

### 5.7.1 CARBONO TOTAL

Com base nos teores de cinza terem apresentado perda de massa, isso comprova a eliminação do carbono (matéria orgânica) com o tratamento térmico empregado, levantou-se a hipótese que poderia ser um resíduo que tem carbono em sua composição, assim foi utilizado a técnica para a quantificação, e com os resultados verificar se seria uma fonte de carbono para que fosse depositado no solo.

Os teores totais de carbono total das amostras da primeira e da última coleta, E1, AF1, PF1, E5, AF5 e PF5, antes e após a calcinação são mostrados na Tabela 3.

Amostras	Carbono Total (%)		Carbono Total Perdido (%)
	Antes da Calcinação	Após a Calcinação	
<b>E1</b>	3,6 ± 0,5	1,7 ± 0,1	52,78
<b>AF1</b>	3,62 ± 0,04	0,7 ± 0,7	80,66
<b>PF1</b>	2,2 ± 0,3	1,2 ± 0,4	45,45
<b>E5</b>	4,3 ± 0,7	3,0 ± 0,6	69,77
<b>AF5</b>	4,9 ± 0,8	0,17 ± 0,02	96,53
<b>PF5</b>	3,2 ± 0,7	1,48 ± 0,09	54,75

Tabela 5: Teores totais de C das amostras E1, AF1, PF1, E5, AF5 e PF5, antes e após a calcinação.

n = 2

média ± desvio padrão

O maior e menor teor de carbono total antes da calcinação foram observados para as amostras de AF1 (3,6 ± 0,04) e PF1 (2,2 ± 0,3), respectivamente. Após a calcinação quem apresentou maior e menor teor de carbono foi a amostra E1 (1,7 ± 0,1) e AF5 (0,17 ± 0,02), respectivamente (Tabela 3).

Os teores de carbono observados para todas as amostras, são em geral superiores aos teores de carbono total da maioria dos solos brasileiros, um estudo envolvendo um Latossolo mostrou valores entre 0,8 e 3,1 %, sabe-se que o teor de carbono total varia muito, pois o solo é um sistema muito dinâmico, porém como comparação, esses resultados indicam que este resíduo pode ser uma importante fonte de carbono ao solo. Não esquecendo que outros parâmetros químicos devem ser avaliados antes da adição do mesmo ao solo, tais como, macro e micronutrientes, e elementos potencialmente tóxicos. Segnini (2007)

Os resultados mostraram que as amostras que mais perderam carbono total com a calcinação foram as amostras de areia de fundição (perdas > 80%). Esse resultado já era esperado devido à alteração de cor observada entre as amostras antes e após a calcinação, e ainda devido as mesmas serem uma mistura de aglomerados no qual a maior parte da composição é de compostos orgânicos.

#### 5.7.2 NITROGÊNIO TOTAL

Os resíduos coletados, apresentaram teores de nitrogênio total entre  $0,0034 \pm 0,0004$  % (E1) e  $0,200 \pm 0,009$  % (AF1). Esses valores permitem inferir que estes não são uma fonte de nitrogênio.

Fertilizante nitrogenado mineral são utilizados na agricultura para melhorar a fertilidade do solo, um exemplo é a cianamida cálcica, com teores de nitrogênio total em torno de, 18 %, (Reetz, 2016). Outro fertilizante usado é a turfa no qual apresenta entre 1 e 3% de teor de carbono e 0,25 a 0,5% teor de nitrogênio. Malavolta; Moraes (2006)

Com isso, podemos observar que os fertilizantes citados acima apresentam porcentagem muito maior do que presente nas amostras, sendo assim os resíduos analisados não podem ser aplicados aos solos com o objetivo de fornecer nitrogênio ao mesmo.

## CONCLUSÕES

Com os resultados das análises dos resíduos sólidos industriais analisados observa-se que os resíduos não são tóxicos ao meio ambiente e aos seres humanos até a classe da legislação no qual foi realizar sua determinação, e a empresa a descarta corretamente, sendo que para o descarte em natureza necessita de mais avaliações em relação a sua toxicidade.

A relação aos dados de do XRD e do teor de cinza e comportamento magnético, conclui-se que á um indicativo que o resíduo de pó de ferro pode ser converter em um material composto de óxido de ferro III. Quando submetido a elevadas temperaturas, pode gerar opções para seu reuso, ele podendo abrir novas pesquisas sendo um resíduo com grande potencial de desenvolvimento sustentável.

As altas variabilidades nos resultados de cinza para a escória sugeriram que não é viável prosseguir avaliando a sua composição, sendo difícil seu manuseio e é muita energia gasta para a redução do tamanho. A areia de fundição já tem um destino de reutilização, mas é necessário difundir mais sua reutilização para alcançar mais pessoas e empresas, visando melhorar o reaproveitamento desse resíduo.

Através da análise de teor de nitrogênio confirmamos que todos os resíduos não seriam uma fonte para fertilizantes, e as porcentagens de carbono estão na faixa presente em solos, sendo assim, não são uma fonte de carbono promissora.

A ligação de indústrias verso universidade pode vir a ser promissor auxiliando o meio ambiente e o ser humano, através dessa união podemos ter melhor controle, ter maior conhecimento para um reaproveitamento, conhecer o que estamos produzindo e ajudar a futuras gerações a ter um mundo melhor, com mais sustentabilidade.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com bases nos resultados deste estudo segue sugestões para futuros trabalhos:

- Determinar a disponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos a partir da análise dos sobrenadantes obtidos por meio da extração sequencial, em água, em carbonato de cálcio e ácido clorídrico.
- Aprofundar a caracterização do pó de ferro, e tentar partir do resíduo a fim de chegar em  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dosar o percentual de ferro das coletas.



## REFERÊNCIAS

- ABNT. **Determinação da composição granulométrica - Agregados**. NBR 7217, p. 3, 1987.
- ABNT. Norma Brasileira ABNT NBR 10004. **Resíduos sólidos - Classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, v. 2, n. 10004, p. 71, 2004a.
- ABNT. Norma Brasileira ABNT NBR 10007. **Resíduos sólidos - Amostragem de Resíduos – Procedimentos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, v. 2, n. 01, p. 21, 2004b.
- ABNT. Norma Brasileira ABNT NBR 10006. **Resíduos sólidos - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, v. 1, n. 01, p. 7, 2004c.
- ABNT 15702. **Areia descartada de fundição - Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 8, 2009.
- ABREU, M. A. D. A. **Síntese e caracterização da magnetita obtida a partir de rejeito de bauxita da mina de juruti**, Pará, Brasil. p. 75, 2017.
- ALEKSEEV, K.; MYMRIN, V.; AVANCI, M. A.; et al. **Environmentally clean construction materials from hazardous bauxite waste red mud and spent foundry sand**. Construction and Building Materials, p. 229, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116860>>. .
- AMBIENTE, M. DO M. **Histórico da flona de Ipanema**. 2009. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/flonaippanema.html>>. Acesso em: 3/10/2020.
- BINDER, R. **Influência do processo de ferroidação nas propriedades de ferro sinterizado**. Mestre em engenharia, p. 139, 1996.
- BRONDINO, O. C.; BRONDINO, N. C. M.; GALDINO, J. P. **O Problema Do Descarte Da Areia De Fundição : Ensino Para O Desenvolvimento Sustentável**. Engenharia: Múltiplos saberes e atuações, p. 12, 2014. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/5/Artigos/129851.pdf>>. .
- CASOTTI, B. P.; FILHO, E. D. B.; CASTRO, P. CASTOR DE. **Indústria de fundição: situação atual e perspectivas**. Banco nacional de desenvolvimento econômico e social, v. 33, p. 121–162, 2011.
- CONAMA. **Gestão de Resíduos e Produtos Perigosos**. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente, nº 313, p. 15, 2002.
- COSTA, C. DAS N.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. **Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos**. Ciência Rural, v. 37, n. 5, p. 1323–1328, 2007.

EL-SAYED, T. A. **Flexural behavior of RC beams containing recycled industrial wastes as steel fibers**. Construction and Building Materials, v. 212, p. 27–38, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.311>>. .

ELWELL, W. T.; GIDLEY, J. A. F. **Atomic absorption spectrophotometry**. England, 1966.

FARIA, R. N.; LIMA, L. F. C. P. **Introdução ao magnetismo dos materiais**. 1° ed. São Paulo, 2005.

GAIVIZZO, L. H. B. **Fracionamento e mobilidade de metais pesados em solo com descarte de lodo industrial**. Doutor em Ciência do Solo, p. 43, 2001.

GOMES, L. S.; FURTADO, A. C. R.; SOUZA, M. C. **Silica and its peculiarities**. Revista Virtual de Química, v. 10, n. 4, p. 1018–1038, 2018.

GUIMARÃES, V.; SÍGOLO, J. B. **Associação de Resíduos da Metalurgia com Sedimentos em Suspensão - Rio Ribeira de Iguape**. Geologia USP - Serie Científica, v. 8, n. 2, p. 1–10, 2008.

HOOD, WILIAM W; WILSON, C. S. **The literature of bibliometrics , scientometrics , and informetrics**. Scientometrics, v. 52, n. 2, p. 291–314, 2001.

IQBAL, M. F. et al. **Prediction of mechanical properties of green concrete incorporating waste foundry sand based on gene expression programming**. Journal of Hazardous Materials, v. 384, n. September 2019, p. 121, 2020

JEFFERY, G. A. **Elements of x-ray diffraction**. 1957.

JOHN PICHTEL. **Waste management practices: Municipal, Hazardous, and Industrial**. Second ed. New York, 2017.

LUÍSA, R.; CARNIN, P. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas**. p. 152, 2008.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. DE. **O nitrogenio na agricultura brasileira**. p. 74, 2006.

MATOS, P. R. DE; MARCON, M. F.; SCHANKOSKI, R. A.; PRUDÊNCIO, L. R. **Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes**. Journal of Environmental Management, v. 244, n. April, p. 294–303, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.048>>. .

MCKIE, M. **Research and development of a sustainable technology improvement model for the foundry industry**. January, p. 65, 2019.

MOITA, GRAZIELLA CIARAMELLA; NETO, J. M. **Estatística aplicada à química**. Teresina, 2010.

MORAES, C. A. M.; KIELING, A. G.; CALHEIRO, D.; 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, 2013.

OLIVEIRA, A. B. F. C. I. L. DE; KOVALESKI, J. L. **Caminhos para a Sustentabilidade do Setor de Fundição no Brasil.** Revista GEPROS, v. 0, n. 2, p. 27, 2010.

OLIVEIRA, L. D. DE. Da **Eco-92 à Rio + 20: uma breve avaliação de duas décadas.** Boletim Campineiro de Geografia, v. 2, n. 3, p. 479–499, 2012.

OLIVIER, S.; SILVA, V. L. DA; SOBRINHO, M. A. DA M. **Gerenciamento de Resíduos resíduos industriais.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, p. 4–8, 2008.

ORTIZ, N. Estudo da utilização de magnetita como material adsorverdor dos metais  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  e  $Cd^{2+}$ , em solução. **Tese de Doutorado**, p. 176, 2000.

PARANÁ, G. D. E. DO. Plano Estadual De Resíduos Sólidos Do Paraná. , v. Relatório, p. 63, 2011.

PEREIRA, G.; MARTINS, A. UMA ESTRATÉGIA ADAPTADA PARA SÍNTESE DE MAGNETITA. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 430–432, 2008.

PERMAL, R.; LEONG CHANG, W.; SEALE, B.; HAMID, N.; KAM, R. Converting industrial organic waste from the cold-pressed avocado oil production line into a potential food preservative. **Food Chemistry**, v. 306, n. August 2019, p. 9, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125635>>. .

PROJETO GERES. **Tratamento e Destinação.** Vila Madalena - São Paulo, SP - Brasil, 2011.

REPÚBLICA, P. DA; CIVIL, C. Lei Nº 12.305, 2010.

RESCHKE, J. S. **Escória granulada de fundição utilizada como substituição ao cimento em concretos: Avaliação De Propriedades Relacionadas Com a Durabilidade.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 174, 2003.

CONAMA Nº 275, **Gestão de resíduos e produtos perigosos.** Diário Oficial da União, p. 1–2, 2001. Disponível em: <[www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=291 1/2](http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=291%201/2)>. .

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. **Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes.** Scientia Agrícola, v. 51, n. 3, p. 556–562, 1994.

SANCHEZ-OLIVARES, G.; RABE, S.; PÉREZ-CHÁVEZ, R.; CALDERAS, F.; SCHARTEL, B. Industrial-waste agave fibres in flame-retarded thermoplastic starch biocomposites. **Composites Part B: Engineering**, v. 177, n. August, p. 9, 2019.

SANTOS, T. G. DOS. **Reaproveitamento de rejeitos de minério de ferro e ouro com base em uma caracterização tecnológica e geoambiental**. Dissertação de Mestrado, v. 15, n. 29, p. 110, 2018.

SENESI, N.; LOFFREDO, E. The Chemistry of Soil Organic Matter. In: SPARKS, D. L. (Ed.) Soil physical chemistry. Boca Raton: CRC, 1999. cap. 6, p. 242-370.

SEGNINI, A. **Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de seqüestro de carbono no solo**. Tese de Doutorado, p. 131, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-14042008-082406/pt-br.php#referencias>>. .

SILVA, A. L. DA; **Reciclagem de escória cristalizada para a produção de argamassas**. Dissertação de Mestrado, p. 81, 2007.

SOUZA, C. DOS S.; ANTUNES, M. L. P.; VALENTINA, L. V. O. D.; RANGEL, E. C.; DA CRUZ, N. C. **Use of waste foundry sand (WFS) to produce protective coatings on aluminum alloy by plasma electrolytic oxidation**. Journal of Cleaner Production, v. 222, p. 584–592, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.013>>. .

TEIXEIRA, A. S. DO N. M.; SOARES, R. A. L.; TEIXEIRA, P. R. S. **Estudo e Avaliação do Uso e Escória Granulada de Fundição na Produção de Cerâmicas Estruturais**. Cerâmica industrial, v. 23, n. 2, p. 36–40, 2018.

WHITNEY G.G., F. D. R. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais metal**. Dissertação, v. 76, n. 3, p. 61–64, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Trace elements in human nutrition and health World Health Organization**. World Health Organization, p. 360, 1996. Disponível em: <<https://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/9241561734/en/>>. .

WUANA, R. A.; OKIEMEN, F. E. **Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation**. 2011.

ZHOU, L.; ZHOU, H.; HU, Y.; YAN, S.; YANG, J. **Adsorption removal of cationic dyes from aqueous solutions using ceramic adsorbents prepared from industrial waste coal gangue**. Journal of Environmental Management, v. 234, n. June 2018, p. 245–252, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.009>>.