

**CENTRO UNIVERSITÁRIO  
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO  
DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE FUNDIÇÃO NA  
FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA**

Leonardo Barga

Presidente Prudente/SP  
2018

**CENTRO UNIVERSITÁRIO  
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO  
DE PRESIDENTE PRUDENTE**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE FUNDIÇÃO NA  
FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA**

Leonardo Barga

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial de Conclusão do Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Dr. Elton Aparecido Prado dos Reis.

Presidente Prudente/SP  
2018

# ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE FUNDIÇÃO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA

Trabalho de Curso apresentado como requisito  
parcial para obtenção do Grau de Bacharel em  
Engenharia Civil.

---

Elton Aparecido Prado dos Reis  
Orientador

---

Bruno do Vale Silva  
Examinador

---

Alonso Droppa Junior  
Examinador

Presidente Prudente, 22 de Novembro de 2018.

## EPÍGRAFE

*“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por se omitir!”*

Augusto Cury

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, sabedoria, por toda saúde e força para superar todas as dificuldades encontrada.

A minha família, em especial a meus pais Milton e Rosenilda e meu irmão Danilo por todo apoio durante esta caminhada, nos momentos difíceis e os de alegria onde estiveram sempre ao meu lado.

Aos meus amigos Felipe, Gustavo, João, Carlos e Danilo por esses longos anos de amizade e apoio durante as pesquisas e projetos realizados em minha vida acadêmica.

Gostaria de agradecer também, meu amigo Luís Fernando dos Santos pelo apoio técnico e laboratorial.

Ao meu orientador e amigo Elton Aparecido Prado dos Reis pela grandiosa orientação.

Agradeço a banca, o prof. Dr. Bruno do Vale Silva e o prof. Ms. Alonso Droppa Junior por terem aceito fazer parte deste momento único em minha vida.

A Fundação Vioto, em especial Gilberto Vioto, pelo incentivo, apoio e doação do resíduo de fundição, bem como a 4F CONTRUÇÕES e ao Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo pela doação de materiais utilizados durante o projeto.

Por fim, agradeço o Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo, por todo recurso disponibilizado, de maneira especial pela oportunidade de ser aluno bolsista do PICT (Programa de Iniciação Científica Toledo), despertando o início de minhas pesquisas, carreira acadêmica e crescimento profissional resultante das pesquisas realizadas.

## RESUMO

O crescimento das atividades industriais consiste em um grande marco para a evolução da sociedade, uma vez que por meio deste crescimento há desenvolvimento de novas tecnologias. Isto, no entanto, provocou um aumento significativo da produção de resíduos. Diante disso, cabe a nós como profissionais da engenharia e pesquisadores elaborar estudos visando a diminuição do impacto ao meio ambiente. Mediante a esta problemática, o presente trabalho tem como escopo realizar o estudo e caracterização da Areia Descartada de Fundição (ADF), com o intuito de desenvolver uma forma de reutilização no setor da construção civil, como a fabricação de argamassas, no qual é um produto muito utilizado no setor da construção civil com diversas aplicabilidades, tendo como finalidade reduzir a quantidade de resíduos sólidos gerados, de forma a beneficiar o meio ambiente, gerando impactos diretos na sociedade. Os corpos de provas de argamassa foram fabricados de acordo com os parâmetros e dimensões da normatização que a ampara (ABNT NBR 13279:2005), substituindo proporções de areia utilizada na argamassa convencional por ADF, resultando assim nos corpos de provas estudados. Os resultados obtidos foram positivos, sendo que, todas as amostras que foram submetidas aos ensaios de compressão axial e tração na flexão atingiram a resistência mínima para argamassa de acordo com a ABNT NBR 13281:2005.

**Palavras-chave:** Argamassa; Areia Descartada de Fundição; Reaproveitamento de Materiais;

## **ABSTRACT**

The growth of industrial activities is a great milestone for the evolution of society, because through this growth there is development of new technologies. However this led to a significant increase in waste production. Given this, it is up to us, as engineering professionals and researchers, to elaborate studies that aim to reduce the impact on the environment. The aim of this work is to study and characterize Waste Foundry Sand (WFS), with the aim of developing a form of reuse in the civil construction sector, such as the manufacture of mortars, in which it is a widely used product in the construction sector with several applications, aiming to reduce the amount of solid waste generated, in order to benefit the environment, generating direct impacts on society. The mortar tests were manufactured according to the parameters and dimensions of the standard (ABNT NBR 13279: 2005), replacing the proportions of sand used in the conventional mortar by the WFS, resulting in the specimens studied. The results were positive, and all the samples that were submitted to axial compression and flexural tensile tests reached the minimum mortar strength according to ABNT NBR 13281: 2005.

**Keywords:** Mortar; Waste Foundry Sand; Reuse of Materials.

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ADF – Areia Descartada de Fundição

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

DRX – Difração de Raio – X

DSC – Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial

TG – Análise Termogravimétrica

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

MO – Microscopia Óptica

LZU – Limite de Zona Utilizável

LZO – Limite de Zona Ótima



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES, TABELAS OU QUADROS

<b>FIGURA 1</b> – Processo de Fabricação das Peças .....	13
<b>FIGURA 2</b> – Processo de Geração da ADF .....	14
<b>FIGURA 3</b> – Areia Descartada de Fundição .....	15
<b>FIGURA 4</b> – Peneiras para Ensaio de Análise Granulométrica .....	19
<b>FIGURA 5</b> – Equipamento para Análise de Difratoimetria de Raio – X .....	20
<b>FIGURA 6</b> – Equipamento Utilizado para Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial .....	21
<b>FIGURA 7</b> – Equipamento Utilizado para Microscopia Óptica .....	23
<b>FIGURA 8</b> – Balança Analítica .....	24
<b>FIGURA 9</b> – Peneira de Mão .....	25
<b>FIGURA 10</b> – ADF Armazenada em Sacos Plásticos .....	26
<b>FIGURA 11</b> – Planta de Forma para Argamassa .....	27
<b>FIGURA 12</b> – Equipamento Realizando Ensaio de Tração na Flexão .....	28
<b>FIGURA 13</b> – Equipamento Realizando Ensaio de Compressão Axial .....	29
<b>FIGURA 14</b> – Massa Retida de ADF .....	30
<b>FIGURA 15</b> – Gráfico dos Limites Máximos e Mínimos .....	32
<b>FIGURA 16</b> – Difratoograma da ADF .....	33
<b>FIGURA 17</b> – DSC da ADF .....	34
<b>FIGURA 18</b> – Termograma da ADF .....	35
<b>FIGURA 19</b> – Micrografia da ADF Obtida por MEV com Ampliação em 100x .....	36
<b>FIGURA 20</b> – Micrografia da ADF Obtidas por MEV com Ampliação em 350x .....	37
<b>FIGURA 21</b> – Micrografia com Ampliação Nominal de 80x da Amostra .....	37
<b>FIGURA 22</b> – Micrografia com Ampliação Nominal de 300x da Amostra .....	38
<b>FIGURA 23</b> – Densidade Aparente da ADF .....	39
<b>FIGURA 24</b> – Resultados do Ensaio de Tração da Flexão .....	40
<b>FIGURA 25</b> – Resultados do Ensaio de Compressão Axial .....	41
<b>TABELA 1</b> – Limites da Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo .....	18
<b>TABELA 2</b> – Tabela de Peneiras para Ensaio de Análise Granulométrica .....	19
<b>TABELA 3</b> – Resultados do Ensaio Granulométrico da ADF .....	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	12
2.1 Areia Descartada de Fundição .....	12
2.2 Argamassa .....	16
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	17
3.1 Materiais .....	17
3.11 Areia Descartada de Fundição .....	17
3.12 Areia Convencional .....	17
3.13 Cimento Portland .....	17
3.2 Classificação da Areia Descartada de Fundição .....	17
3.3 Análise Granulométrica da Areia Descartada de Fundição .....	18
3.4 Difração de Raio – X (DRX) .....	19
3.5 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) .....	20
3.6 Análise Termogravimétrica (TG) .....	21
3.7 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) .....	22
3.8 Microscopia Óptica .....	22
3.9 Densidade Aparente .....	23
3.10 Preparação dos Corpos de Provas .....	25
3.11 Cura dos Corpos de Provas .....	27
3.12 Ensaio de Resistência a Tração na Flexão .....	27
3.13 Ensaio de Compressão Axial .....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
4.1 Análise Granulométrica .....	30
4.2 Difração de Raio – X (DRX) .....	32
4.3 Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) .....	34
4.4 Análise Termogravimétrica (TG) .....	35
4.5 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) .....	36
4.6 Microscopia Óptica (MO) .....	37
4.7 Ensaio de Densidade Aparente .....	39
4.8 Ensaio de Tração na Flexão .....	40
4.9 Ensaio de Compressão Axial .....	41
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	43
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao método construtivo predominante no Brasil, o emprego de argamassa no setor se torna indispensável, contando com inúmeras aplicações. Entretanto, para a fabricação da argamassa, a mesma utiliza-se de recursos naturais não renováveis, tais como cimento Portland e areia. Contudo, uma quantidade considerável de matéria prima é necessária na execução de novas edificações e reformas, uma vez que o uso de argamassa se torna indispensável nestas atividades.

A sociedade, por meio da tecnologia, vem se desenvolvendo a tal ponto de estar completamente ligada com a sustentabilidade pelo fato de que a reutilização de materiais proporciona vantagens econômicas e diminui impactos ao meio ambiente. Na construção civil, entre as modalidades de reciclagem, são utilizados os resíduos provenientes das atividades das siderúrgicas e metalúrgicas, como por exemplo a areia de fundição, também conhecida como areia verde, que é o objeto de estudo deste projeto.

Neste contexto, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), vem implantando técnicas e procedimentos a fim de estabelecer a gestão adequada para os resíduos sólidos industriais, resíduos urbanos e de serviço a saúde, a fim de diminuir a potencialidade que os mesmos possuem de poluir e danificar o meio ambiente (CETESB, 2018).

Todo esse crescimento industrial interfere totalmente no meio ambiente, principalmente quanto a extração da matéria prima, de onde se obtém a coleta do material virgem o qual não retornará às suas características originais após o processo no qual ele será submetido. Após o material passar por processo construtivo, geram resíduos, o que na maioria dos casos são dispostos em aterros sanitários devido ao fato de não haver um reaproveitamento viável economicamente e de interesse de todos, para que assim possa minimizar tais impactos.

O Brasil tem capacidade de se tornar um dos maiores produtores de fundidos do mundo. Em 2014, o país ocupava o 7º lugar no ranking de produtor de fundidos, estando a frente de países como Coreia, Itália e França (ABIFA, 2016, p.23). Conseqüentemente, com a grande produção de fundidos,

o país também gera uma gama enorme de resíduo de fundição, também conhecida como ADF (Areia Descartada de Fundição).

Uma grande preocupação ambiental se tem a quantidade de resíduo que é gerada. A origem da ADF é devido a fabricação das peças produzidas, atingindo certa de 0,8 a 1 tonelada para cada tonelada de fundido fabricado. Após a desmoldagem das peças, em torno de 90% da areia pode ser reaproveitada no processo de produção, os 10% restantes resulta no descarte do material (CASOTTI et al, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) no primeiro quadrimestre do ano de 2018, foram contatados a produção de 745.587 toneladas de fundidos, resultando em um valor 6% maior do que o mesmo período de 2017 e 12% maior que 2016 (ABIFA, 2018). Este aumento na produção também implica no aumento da geração da ADF, e segundo os dados citados por Casotti anteriormente, esta produção de fundidos do primeiro quadrimestre de 2018 implica na produção aproximada de 745.587 toneladas de ADF.

Portanto, o presente trabalho, teve como embasamento artigos e projetos já realizados, visando a reutilização dos resíduos gerados pelo processo de fundição, buscando cada vez mais, meios de minimizar impactos causados, os tornando em matéria prima viável de ser e utilizada no setor da construção civil, que por sua vez poderá ser utilizada em argamassas de regularização.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Areia Descartada de Fundição

Dentre os problemas gerados pela sociedade tal como a reciclagem, vem sendo uma prática crescente, porém ainda é uma questão cultural de aceitação em expansão, tomando como exemplo o lixo doméstico que resulta na geração de resíduo, bem como todo outro e qualquer material possível de reutilização. Os resíduos sólidos industriais não deixam de ser passíveis de serem reaproveitados, desde que não apresentem riscos à saúde humana e mal ao meio ambiente.

Mediante a grande problemática causada por resíduos, o presente trabalho tem como finalidade realizar um estudo, com o intuito de desenvolver formas para reutilização da ADF, comprovando ou não a viabilidade da aplicação no setor da construção civil.

No que tange ao método de fabricação das peças em empresas de Fundição, o processo de fundição incide em verter todo o metal líquido no interior do molde, molde este já “revestido” com a areia de fundição. Após alguns minutos, o metal toma a forma desejada solidificando dentro do molde. Na maior parte das empresas, o processo de fundição é o início de toda a fabricação, já que possibilita alcançar a forma definitiva da peça (CIMM, 2018).

Entretanto, o problema em questão não é tão simples assim, pois todo esse impacto causado, desde o início do processo de fundição até a fabricação da peça onde a mesma é retirada do molde, gerando então parte do resíduo, é de total responsabilidade da indústria poluidora, o que aumenta a preocupação para quem produz. De acordo com a lei nº. 9.921, de 27 de julho de 1993, no seu Art. 8 rege que:

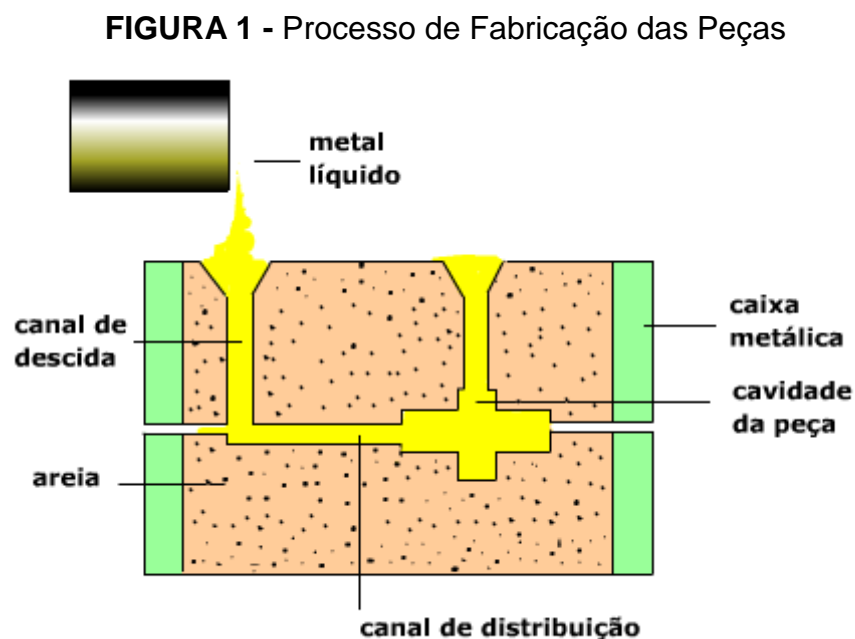
A coleta, o transporte, o tratamento, o processamento e a destinação final dos resíduos sólidos de estabelecimentos industriais, comerciais e de Prestação de serviços, inclusive de saúde, são de responsabilidade da fonte geradora, independentemente da contratação de terceiros, de direito público ou privado, para execução de uma ou mais dessas atividades.

Diante do exposto pela lei, torna-se viável a busca por meios de reaproveitamento de resíduos.

Para a composição da areia de fundição, a mistura contém quatro principais componentes: Sílica (óxido de silício –  $\text{SiO}_2$ ), bentonita, pó de carvão e água. A sílica é um mineral também conhecido como “areia base”, a bentonita é um silicato de alumina hidratado composto por “silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio”. O pó de carvão é composto de “matéria volátil, carbono fixo, cinzas, água e enxofre” e por fim, a água na qual possui características essenciais para a mistura da areia, tornando possível a moldagem por meio do aumento da umidade (CARNIN, SILVA, 2010, p.57).

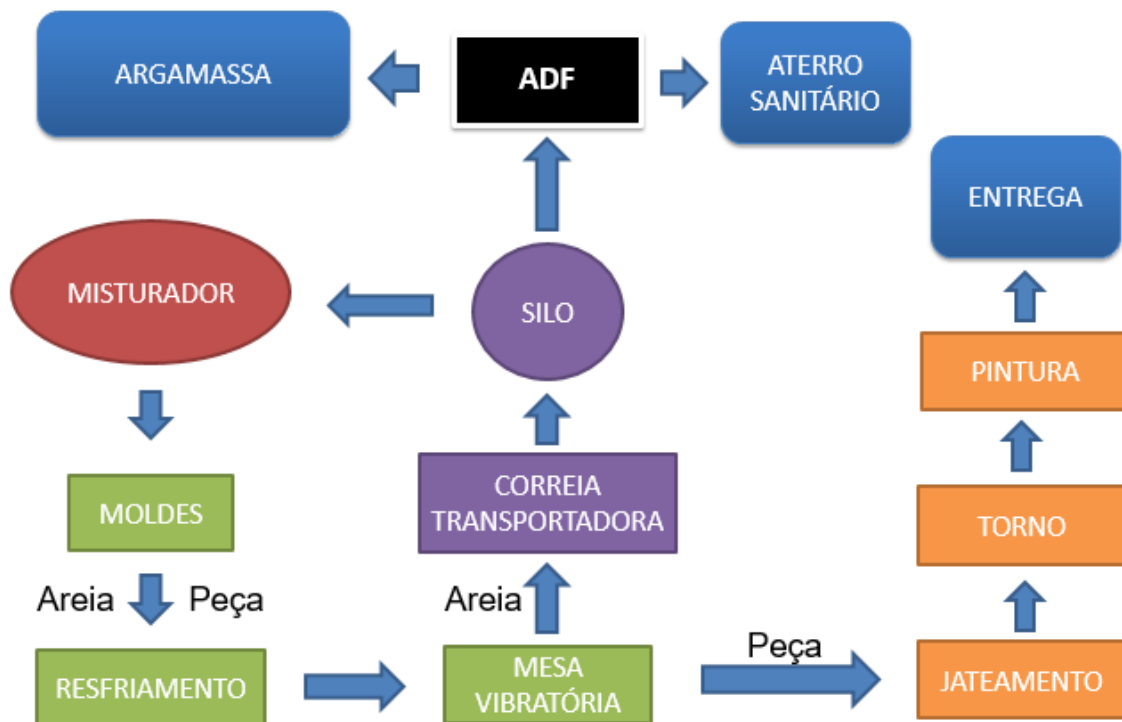
De acordo com Bonin (1995) a areia quando misturada com seus demais componentes, apresentam características como: “maleabilidade, compatibilidade, refratariedade, coesão, resistência a esforços mecânicos como compressão e tração, expansividade volumétrica, permeabilidade e perfeita desmoldagem” as quais favorecem o processo fabricação das peças na indústria (apud CARNIN, SILVA, 2010, p.57).

O processo de fundição pode ser definido por um processo que consiste em despejar todo o metal líquido dentro do molde com a cavidade de acordo com a peça a ser produzida. Posteriormente o metal líquido endurece na parte interna do molde, adquirindo a forma desejada (CIMM, 2018). A Figura 1 mostra de forma simples o processo de fundição.



O processo de geração da ADF pode variar de fundição para fundição. A Figura 2 apresenta um fluxograma resumido dos processos de mistura da ADF até chegar a sua geração e destinação.

**FIGURA 2 - Processo de Geração da ADF**



Fonte: O autor: específico da Fundição Vioto.

A metodologia de fabricação se inicia a partir do “misturador”, onde as matérias primas, tais como areia, bentonita, pó de carvão e água são inseridos para dar origem ao formato das peças. Os moldes normalmente são metálicos ou de alumínio, possuindo a função de não deixar que a mistura de desfaça facilmente e tornando a possível de move-la.

Destaca-se um procedimento a ser analisado do “silo”, pois é nesse momento que a areia de fundição volta ao misturador em caso de ser reaproveitada, se a areia não for para o silo, ela assume sua destinação, sendo na maioria dos casos depositadas em aterros sanitários, e passa a ser classificada como areia descartada de fundição (ADF). Como solução proposta pelo trabalho em questão, ao invés do descarte direto da ADF no aterro, tem-se a opção de sua reutilização em argamassas.

A Figura 3 apresenta um exemplo de como a ADF é armazenada antes de receber sua destinação final, podendo ser observada inúmeras granulometrias do resíduo, o que impossibilita seu reuso durante o processo de fabricação de outras peças.

**FIGURA 3 - Areia Descartada de Fundição**



Fonte: INEAM (2018)

A reaproveitamento da ADF vem sendo o objeto de estudo de diversos pesquisadores, podendo citar o de Bonet (2002), o qual utilizou a ADF em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), o de Santos et al. (2016), em que incorporou a areia descartada de fundição na fabricação de blocos de concreto.

Carnin e Silva (2010), em um de seus trabalhos realizados, confirmou a viabilidade da utilização do resíduo de fundição no emprego de peças de concreto para pavimentação. Resultado este que corrobora para o desenvolvimento de pesquisas utilizando a ADF, buscando novos meios para seu reaproveitamento.



Por fim, este trabalho em questão tem como finalidade reduzir ao máximo a quantidade de resíduos descartados em aterros, reutilizando de tal forma que beneficie o meio ambiente, gerando impactos diretos na sociedade. Outro ponto a ser analisado, é a vantagem econômica que este projeto oferece, uma vez que o valor gasto pelos geradores para depositar este resíduo em aterros sanitários é significativo, não proporcionando um benefício futuro.

## **2.2 Argamassa**

Desde os tempos do homem primitivo, no objetivo de melhorar seus ambientes e qualidade de vida, buscou em recursos naturais, um meio de proteção. No início, suas construções eram frágeis, porém, com o passar dos anos e a evolução do conhecimento dos materiais utilizados e disponíveis na natureza, passou a melhorar suas edificações, tornando-as mais rígidas (PAULO, 2006).

A argamassa é um material resultante da mistura de agente ligante e agregado, sendo conhecida a mais de 8000 mil anos já sendo utilizada como revestimentos ou assentamento de paredes (APFAC, 2018).

No setor da construção civil, a aplicação da argamassa vem sendo cada vez mais frequente, contando com aplicações como: argamassa de assentamento de alvenaria, argamassa para revestimentos (reboco), argamassa para ligação de juntas, argamassa de regularização, dentre outras possibilidades de aplicação.

A argamassa é definida através da mistura de seus constituintes em proporções já estudadas, devendo resultar em uma massa homogênea e de acordo com a aplicação proposta. Sua mistura proporciona, uma boa plasticidade logo quando recém-fabricada, enquanto que posteriormente, ao serem endurecidas adquirir uma certa rigidez, resistência e aderência (PAULO, 2006).

Portando, em vista do conhecimento da existência do resíduo de fundição e sua problemática e as variadas aplicações e possibilidades da aplicação da argamassa, o presente trabalho visa seu estudo e a possibilidade da aplicação como matéria prima na fabricação de argamassas.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Materiais**

##### **3.11 Areia Descartada de Fundição**

A ADF utilizada no presente trabalho foi fornecida pela empresa Fundição Vioto, situada no Distrito Industrial do município de Presidente Prudente – SP.

##### **3.12 Areia Convencional**

A areia convencional foi fornecida pelo Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente.

##### **3.13 Cimento Portland**

O cimento utilizado no presente trabalho é o CP II-Z-32, marca Votoran, doada pela empresa 4F CONSTRUÇÕES.

#### **3.2 Classificação da Areia Descartada de Fundição**

De acordo com a ABNT NBR 10004/2004, a areia descartada de fundição é classificada como resíduo sólido não perigoso, de acordo com o anexo “H”. A classificação pode ser realizada mediante a análises de Lixiviação e Solubilização de acordo com as normas ABNT NBR 10005/2004 e ABNT NBR 10006/2004 respectivamente.

Carnin et. al (2010), realizou estudos seguindo os parâmetros presentes na ABNT NBR 10004/2004, classificando a ADF de acordo com sua periculosidade, e concluiu que o ADF utilizada em seu trabalho pertencia a Classe II A – não inerte.

Klinsky e Fabbri (2009) e Carnin e Silva (2010), realizaram estudos com base na ABNT NBR 10004:2004 nos quais comprovaram a classificação da ADF como Classe IIA – não inerte.

Martini (2017), efetuou “testes de lixiviação e solubilização que classificaram a areia descartada de fundição utilizada como Classe IIA – não

inerte”, para posteriormente utilizá-la na produção de blocos de concreto estruturais.

Tendo em vista de que a classificação da ADF não é o objetivo principal deste trabalho, grande parte dos trabalhos encontrados classificaram a ADF como Resíduo Classe IIA – não inerte, assim como os mencionados anteriormente. Logo, a probabilidade da ADF enquadrar-se como resíduo Classe IIA – não inerte é verificado mediante a bibliografia.

### 3.3 Análise Granulométrica da Areia Descartada de Fundição

Com o estudo granulométrico foi possível caracterizar a ADF, analisando se a mesma encontra-se dentro dos limites mínimos e máximos do agregado conforme a ABNT NM 248:2003, além de obter o módulo de finura da ADF, possibilitando saber em qual zona ela se encontra, conforme ilustra a Tabela 1, retirada da ABNT NBR 7211:2005.

**TABELA 1 - Limites da Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo**

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

**NOTAS**

- O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT NBR 7211:2005

A análise granulométrica foi realizada na Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, localizada na cidade de Presidente Prudente – SP, no laboratório de Engenharia Civil (Labcivil), seguindo a ABNT NBR NM 248:2003.

A Figura 4 mostra as peneiras utilizadas já no agitador da marca Solotest prontas para o ensaio, e a Tabela 2 está descrita as aberturas com suas respectivas aberturas em milímetros.

**FIGURA 4 - Peneiras para Ensaio de Análise Granulométrica**



Fonte: O autor.

**TABELA 2 – Tabela de Peneiras para Ensaio de Análise Granulométrica**

Peneira (Mesh)	4	8	16	30	50	100	200	Fundo
Abertura (mm)	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,149	0,074	Fundo

Fonte: O autor.

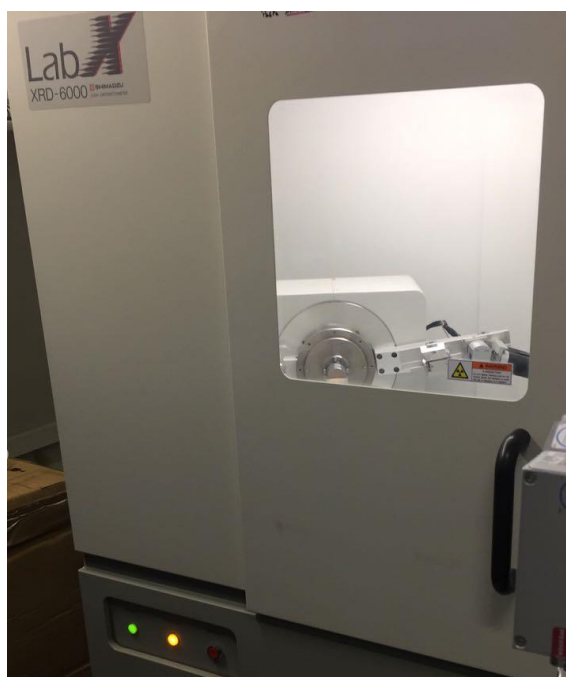
### 3.4 Difração de Raio – X (DRX)

Segundo Oliveira (2014, p. 18), a ADF, quando submetida ao ensaio de difração de raios - X (DRX), torna possível a identificação de suas fases mineral, tornado possível a observação e o estudo de sua estrutura

cristalina. Esta análise é realizada mediante aos picos gerados no difratograma durante o ensaio, visando obter o estudo mineralógico do material.

Para realização deste ensaio, utilizou-se o equipamento de DRX da marca XRD (modelo XRD-6000) o qual pode-se verificar na Figura 5, pertencente ao Laboratório de Materiais Cerâmicos (LaMaC) na FCT – UNESP de Presidente Prudente – SP.

**FIGURA 5** - Equipamento para Análise de Difractometria de Raio – X



Fonte: O autor.

### **3.5 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)**

De acordo com Macedo (2015, p.35) por meio de análise térmica realizada foi possível verificar se o material a ser estudado possui ou não transições de fase e porções de fases secundárias. O equipamento realiza o ensaio mediante ao aumento de sua temperatura em uma taxa constante de 10°C/min conforme as medidas em atmosfera ambiente, sem entrada de outros gases.

Para a concretização do ensaio, utilizou-se o equipamento da marca TA INSTRUMENTS modelo SDT Q600, com faixa de temperatura de ambiente até 1200°C demonstrado na Figura 6.

**FIGURA 6** - Equipamento Utilizado para Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial



Fonte: O autor.

### 3.6 Análise Termogravimétrica (TG)

O ensaio permite obter medidas de perda de massa em função do aumento da temperatura, de acordo com Reis (2014, p.33), para a realização termogravimetria, utilizou-se aproximadamente 10,6300 mg da ADF. Como resultado da análise também é possível identificar a estabilidade térmica do material corroborando para viabilidade do estudo e possíveis aplicações.

Para a realização do ensaio, utilizou-se do equipamento da marca TA INSTRUMENTS modelo SDT Q600 situado no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LaMaC) na FCT – UNESP de Presidente Prudente – SP, podendo atingir a temperatura de ambiente de até 1200°C. Vale ressaltar que a TG e o DSC foram realizadas simultaneamente devido a serem ensaios provenientes do mesmo equipamento.

### 3.7 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é uma técnica utilizada com o objetivo de observar as características morfológicas do material. O procedimento foi realizado no laboratório Multiusuário de Análises de Materiais (MULTILAM) no Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, no qual conta com um MEV da marca JEOL e modelo JSM-6380LV. Nesta metodologia, uma amostra de ADF é recoberta com ouro, depositados pela técnica de Sputtering, em um Sputter da fabricante Denton Vacuum, Modelo Desk III também localizado no laboratório MULTILAM, e após a finalização do revestimento da amostra, realiza-se o MEV da amostra de ADF. A técnica de Sputter é necessária visto que a ADF não é condutora, e para que o MEV consiga realizar a micrografia, o material deve ser condutor.

### 3.8 Microscopia Óptica (MO)

As amostras de argamassa contendo 20% de ADF foram analisadas (área interna) após seu rompimento de 28 dias, no laboratório Detran – Detecção de Traços Nucleares da FCT – UNESP de Presidente Prudente – SP. Com a realização do ensaio, foi possível analisar o comportamento do resíduo na mistura da argamassa, sendo utilizado um microscópio da marca Zeiss Stereo Discover como mostrado na Figura 7, aumentando a 80x e 300x, acoplado a uma câmera digitalizadora (ExwaveHAD, Sony, modelo SSC-DC54A), possuindo um software *Image-Pro Plus* 4.0. Destaca-se que foram coletadas imagens apenas da amostra contendo 20% de ADF, tendo em vista de que o objetivo desta técnica era apenas visualizar o comportamento das areias e a amostra analisada possuir maior resistência à compressão axial do que as demais amostras utilizando ADF.

**FIGURA 7 - Equipamento Utilizado para Microscopia Óptica**

Fonte: O autor.

### 3.9 Densidade Aparente

A densidade aparente é a razão entre a massa e o volume de uma determinada amostra sólida. Neste presente trabalho, as densidades aparentes foram realizadas pelo método da proveta, no qual seu princípio consiste na “Obtenção da massa por pesagem após compactação da amostra de solo em uma proveta até o volume pré-determinado” (ALMEIDA et. al., 2017, p.68).

A densidade aparente de um material pode ser calculada pela razão da massa e o volume da amostra, demonstrado pela fórmula:

$$\rho \text{ (densidade)} = m \text{ (massa)} / v \text{ (volume)}$$

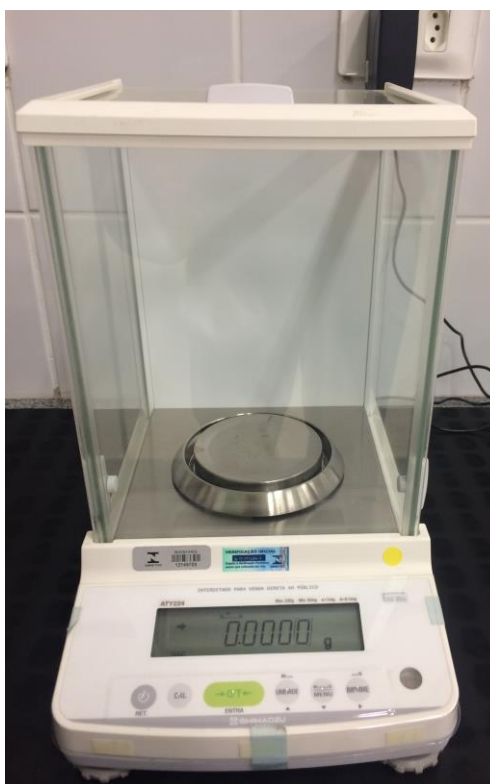
Segundo Almeida et al. (2017, p.68), para a realização deste ensaio é necessário inserir uma pequena porção da amostra a cada 35 mL aproximadamente, em uma proveta graduada de 100 mL, de massa já



conhecida. Em seguida compacta-se a proveta em uma manta de borracha, com espessura de 5 mm, em uma altura média de 10 centímetros. Posteriormente, este procedimento deve ser repetido por mais duas vezes. Ao termino deste procedimento destes, toma-se nota da massa da proveta com o material em uma balança analítica com precisão de 0,1g e se subtrai a massa já conhecida da mesma quando estava vazia e então é calculada a densidade.

A balança e a proveta são pertencentes ao Laboratório de Física Experimental do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente. A Figuras 8 mostra a balança analítica.

**FIGURA 8 - Balança Analítica**



Fonte: O autor.

O resultado da densidade aparente está relacionado a absorção de água ou qualquer líquido, ou seja, varia de acordo com a quantidade de vazios proveniente da amostra de resíduo, e o ensaio foi realizado com a ADF e a areia convencional.

### 3.10 Preparação dos Corpos de Provas

Para a fabricação da argamassa e a obtenção do agregado miúdo, houve a necessidade de um pré-peneiramento na ADF. A ABNT NBR 7211:2005 especifica que agregados miúdos são: “Agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu\text{m}$ ”.

Devido a presença de torrões no qual superam o diâmetro de 4,75 mm, a ADF foi passada por uma peneira de mão cuja a média de sua malha era menor ou igual a 4,75 mm como mostra a Figura 9, para a conferência da abertura da peneira, foi realizada a medida através de um paquímetro, e posterior a este procedimento, toda ADF peneirada foi armazenada em sacos plásticos como se encontra a Figura 10.

**FIGURA 9** - Peneira de Mão



Fonte: O autor.

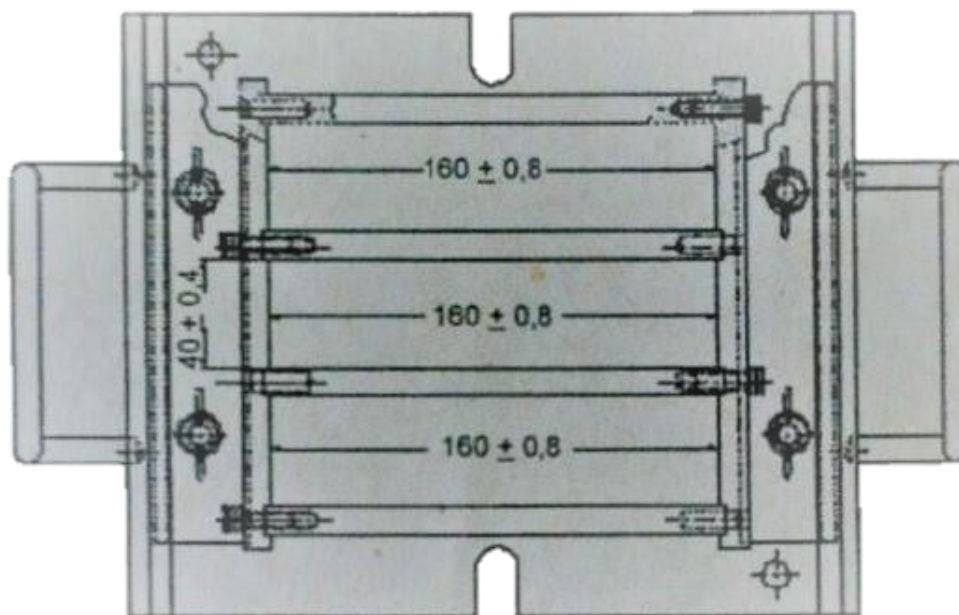
**FIGURA 10 - ADF Armazenada em Sacos Plásticos**

Fonte: O autor.

Para a fabricação dos corpos de provas de argamassa, realizou-se a mistura da argamassa de forma manual a partir do traço de 1:3 (cimento/areia) já estudado e utilizados em trabalhos anteriores como o de Barga et. al, (2018), e o fator a/c (relação entre a massa de água e a massa de cimento) de 0,89 obtido por tentativa e erro em amostras “teste”. O fator a/c influência nas propriedades da argamassa tais como porosidade, trabalhabilidade, resistência a compressão, durabilidade e permeabilidade.

Para o presente trabalho, a areia convencional será substituída por ADF nas seguintes proporções (areia/ADF): 100/0; 80/20; 60/40; 40/60; 20/80; 0/100.

Para a moldagem dos corpos de provas, a fim de atender a ABNT NBR 13279:2005, foram utilizados moldes metálicos prismáticos com as dimensões de profundidade ( $40 \pm 0,4$ ) mm, largura de ( $40 \pm 0,4$ ) mm e comprimento de ( $160 \pm 0,8$ ) mm. A Figura 11 mostra uma imagem em planta retirada da norma do modelo da forma de argamassa.

**FIGURA 11 – Planta de Forma para Argamassa**

Fonte: ABNT NBR 13279:2005.

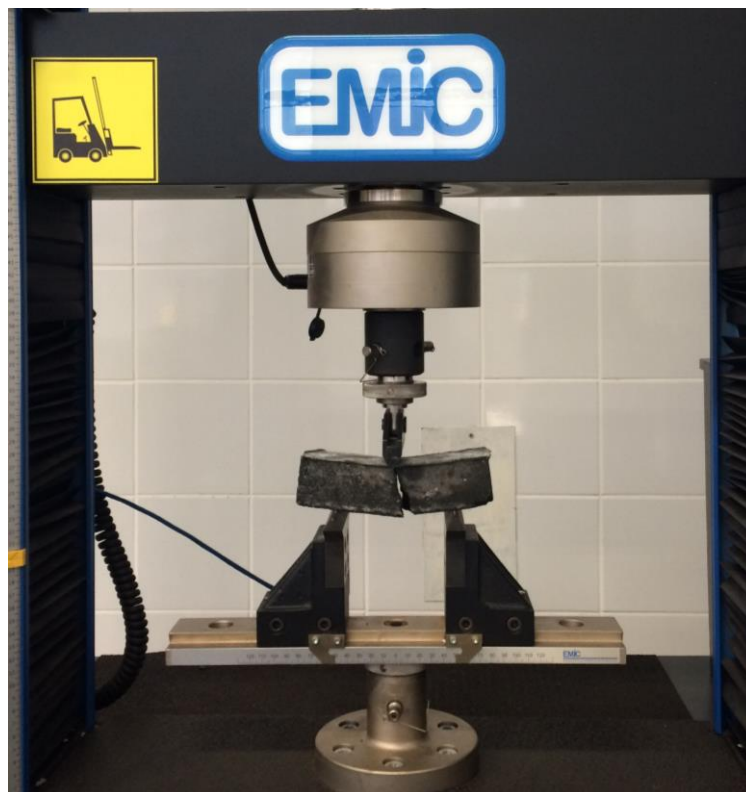
### 3.11 Cura dos Corpos de Provas

Para a realização da cura dos corpos de prova, utilizaram-se parâmetros de acordo com a ABNT NBR 5738:2015, na qual as amostras permaneceram imersas em “solução saturada de hidróxido de cálcio” até o momento do ensaio de tração da flexão e compressão axial, “os quais ocorreram 28 dias após sua fabricação e moldagem”.

### 3.12 Ensaio de Resistência a Tração na Flexão

O ensaio de flexão de três pontos foi realizado a partir da ABNT NBR 13279:2005, que define as especificações para o ensaio. Atendendo a normativa citada, o corpo de prova prismático é colocado sobre dois apoios com um espaçamento entre eixos dos apoios de 100 mm, e posteriormente, com a atuação de um cutelo no centro é aplicada uma carga de 50N/s.

Realizou-se o ensaio na máquina universal de ensaios modelo EMIC 23-100, eletromecânica, microprocessada, de marca INSTRON/EMIC, demonstrado na Figura 12.

**FIGURA 12** - Equipamento Realizando Ensaio de Tração na Flexão

Fonte: O autor.

O equipamento pertencente ao laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente - SP.

### **3.13 Ensaio de Compressão Axial**

Seguindo os parâmetros contidos na ABNT NBR 13279:2005 para a realização do ensaio de compressão axial, utilizaram-se as metades dos corpos de provas que foram rompidos por flexão. As metades dos corpos de provas provenientes do ensaio de Tração na Flexão são ajustadas no apoio de modo em que a parte já rompida não permaneça em contato com os módulos do equipamento, e para isto utiliza-se de uma chapa metálica quadrada de 40x40 mm, e com espessura de 1/4", a fim de centralizar a carga, que neste ensaio é de 500 N/s.

Para o ensaio, também é utilizada a máquina universal de ensaios modelo EMIC 23-100, eletromecânica, microprocessada, de marca INSTRON/EMIC, demonstrado na Figura 13, apenas com a alteração de seus módulos de ensaio.

**FIGURA 13** – Equipamento Realizando Ensaio de Compressão Axial



Fonte: O autor.

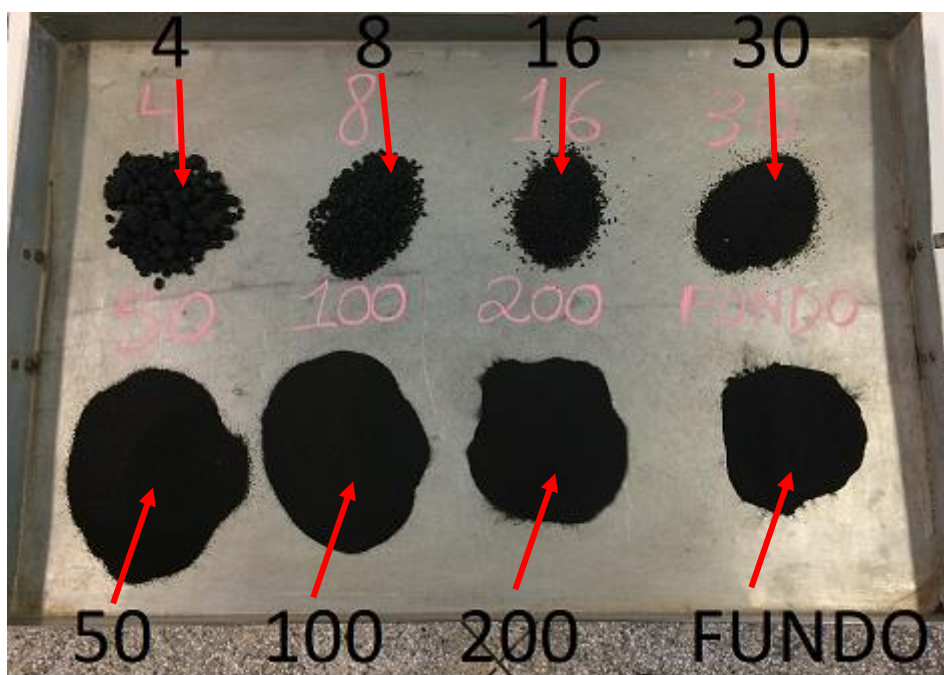
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise Granulométrica

O resultado da distribuição granulométrica da areia descartada de fundição está apresentado na Figura 14, análise granulométrica na Tabela 3 e a curva granulométrica na Figura 15.

Na Figura 14, é apresentado, em um recipiente metálico, a quantidade de massa retida de areia descartada de fundição em cada peneira. A massa retida com maior volume pode ser vista na peneira ABNT 50 (0,59mm) e 100 (0,149mm), respectivamente (Tabela 3).

**FIGURA 14 – Massa Retida de ADF**



Fonte: O autor.

Vale ressaltar que a peneira ABNT 4 (4,76mm) e 8 (2,38mm) contém grumos. Os grumos são formados devido à ação da chuva e da umidade, que age sobre o local de deposição criando na superfície uma crosta coesa, devido às partículas finas de bentonita e pó de carvão presente nas areias descartadas de fundição.

Após a realização do ensaio de granulometria, foram pesadas as massas retidas da ADF em cada peneira. Foi possível calcular a porcentagem retida acumulada, que se caracteriza como a porcentagem de massa retida em cada peneira e nas peneiras que se dispõem acima em relação ao total de massa inserida no sistema. Tornou-se possível a formulação da Tabela 3 e Figura 15, onde estão representados os limites máximo e mínimo da zona ótima e utilizável para a classificação da ADF conforme a ABNT NBR 7211:2005.

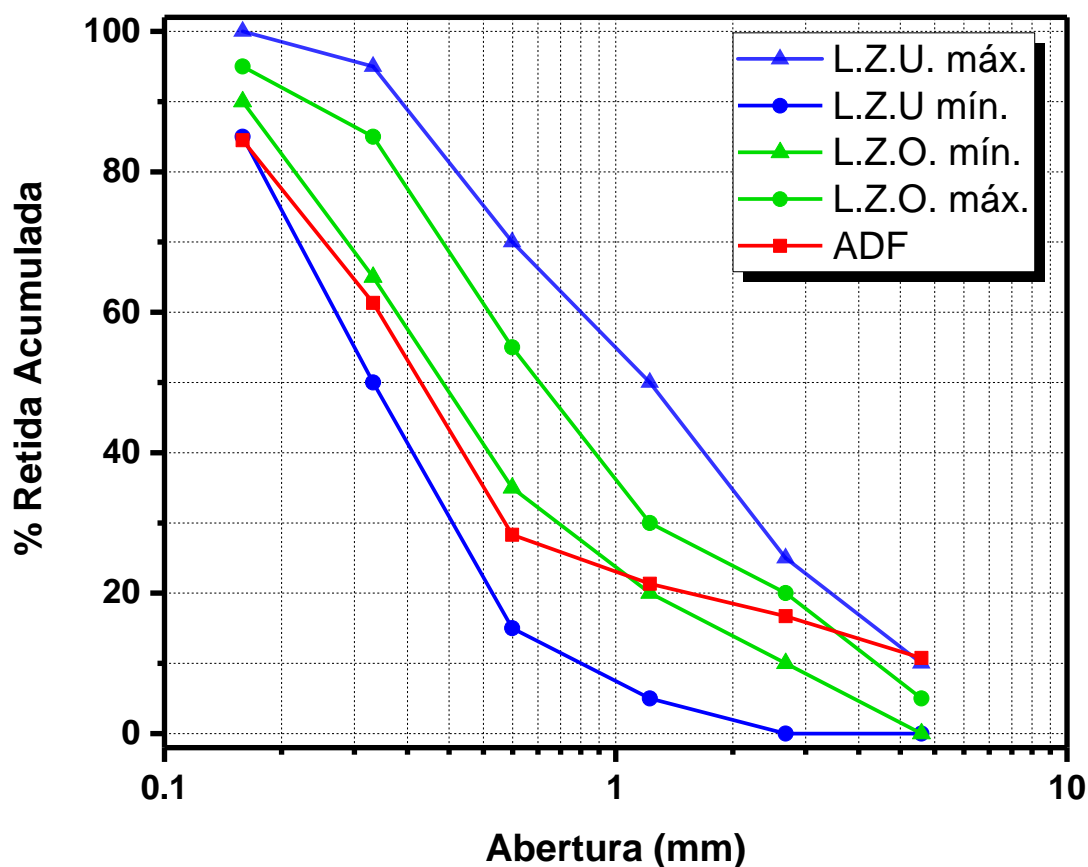
**TABELA 3 - Resultados do Ensaio Granulométrico da ADF**

<b>AGREGADO MIÚDO- ADF</b>							
<b>Peneira</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>% Retida Acumulada</b>	<b>Limites de Zona Utilizável (%)</b>		<b>Limites Zona Ótima (%)</b>	
4	4,76	107,76	10,77	0	10	0	5
8	2,38	59,65	16,73	0	25	10	20
16	1,19	46,22	21,35	5	50	20	30
30	0,59	69,62	28,31	15	70	35	55
50	0,29	330,22	61,33	50	95	65	85
100	0,149	231,58	84,48	85	100	90	95
200	0,0074	96,10	94,09	---	---	---	---
FUNDO	0	58,85	99,97	---	---	---	---
<b>ABNT NBR NM 248:2003</b>				<b>ABNT NBR 7211:2005</b>			
<b>Módulo de Finura: 2,23</b>							

Fonte: O autor.



FIGURA 15 – Gráfico dos Limites Máximos e Mínimos



Fonte: O autor.

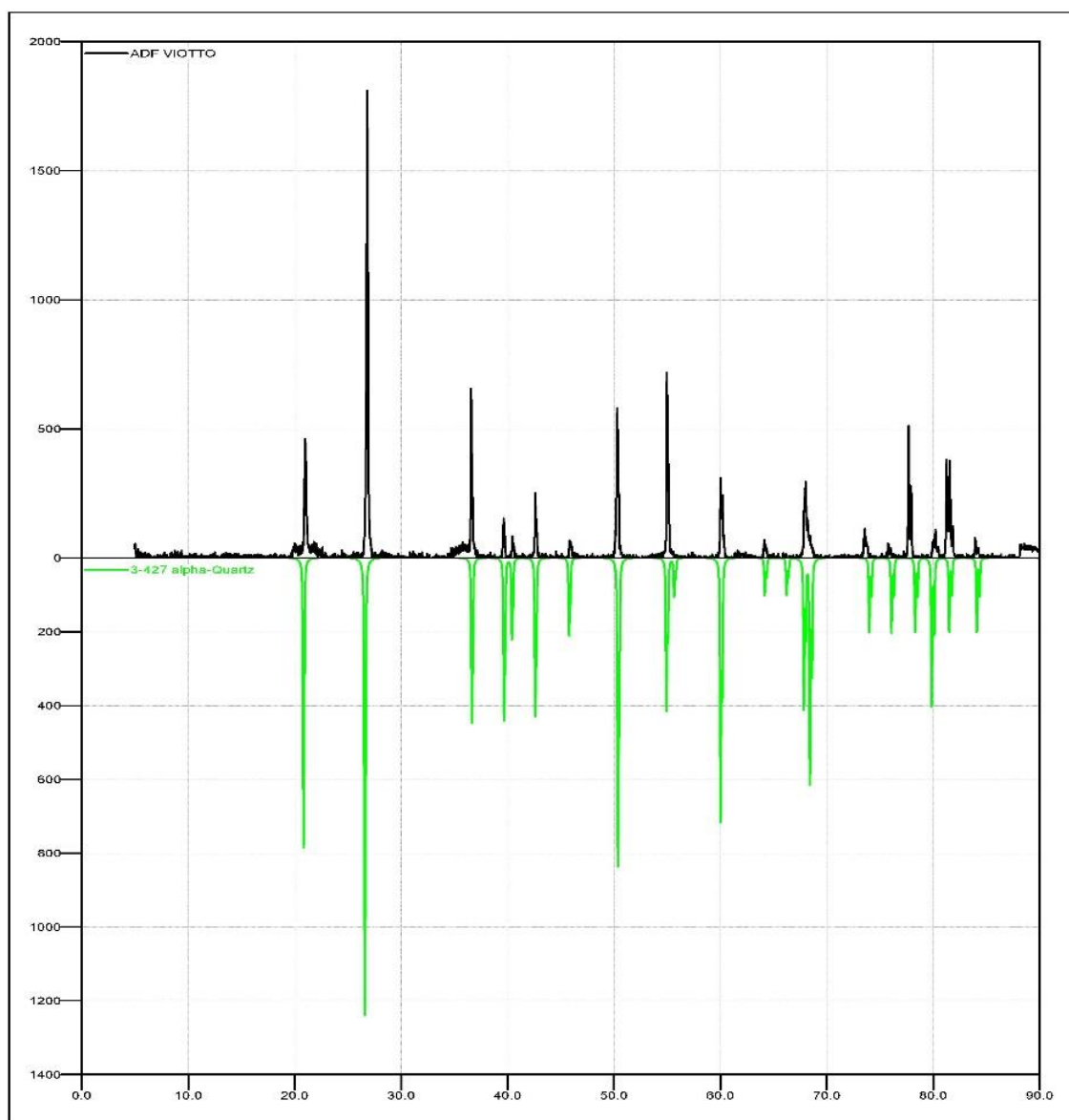
Através da curva granulométrica, podemos observar que a ADF não se encontra dentro do Limite de Zona Ótima (L.Z.O), exceto nas peneiras de ABNT 30 (28,31%) e ABNT 50 (61,33%). Já no Limite de Zona Utilizável (L.Z.U), a ADF encontra se dentro do limite máximo e mínimo em toda a sua extensão. A ADF foi classificada como utilizável de acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 7211:2005. A análise granulométrica e o módulo de finura foram utilizados como caracterização complementar para a incorporação da ADF na argamassa.

#### 4.2 Difração de Raio - X (DRX)

A Figura 17 apresenta o difratograma de raios - X da areia descartada de fundição – ADF. Observa-se no difratograma a presença da fase cristalina  $\alpha$ -quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) segundo a ficha cristalográfica JCPDS 3-427. De acordo com Furlani et al.(2012) e Alonso-Santurde et al. (2011), existem outros

elementos, como os óxidos de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), cálcio ( $\text{CaO}$ ), magnésio ( $\text{MgO}$ ) e sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), que estão presentes na composição química da ADF. Estes óxidos reportados pela análise de fluorescência de raios - X não foram identificados pela técnica de difração de raios - X por estarem em baixa concentração.

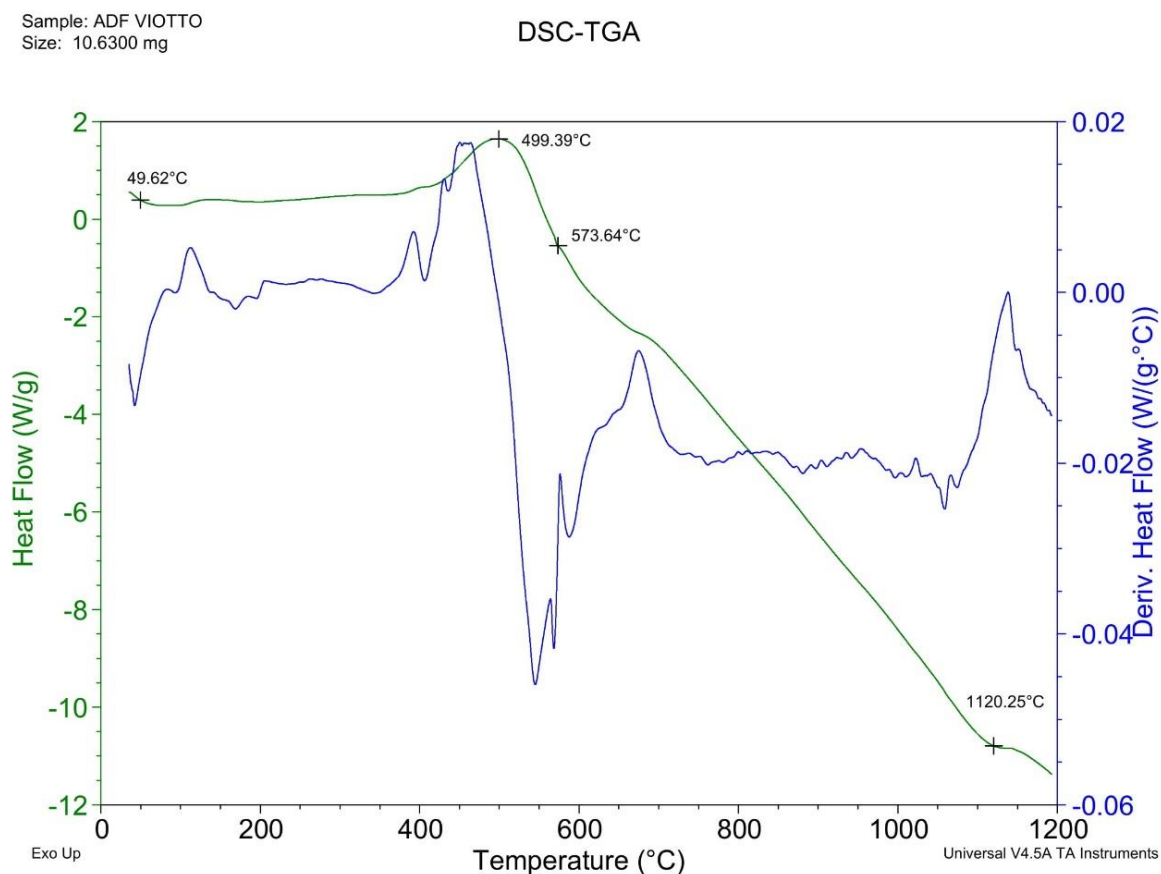
**FIGURA 16 – Difratoograma da ADF**



Fonte: O autor.

### 4.3 Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

FIGURA 17 – DSC da ADF

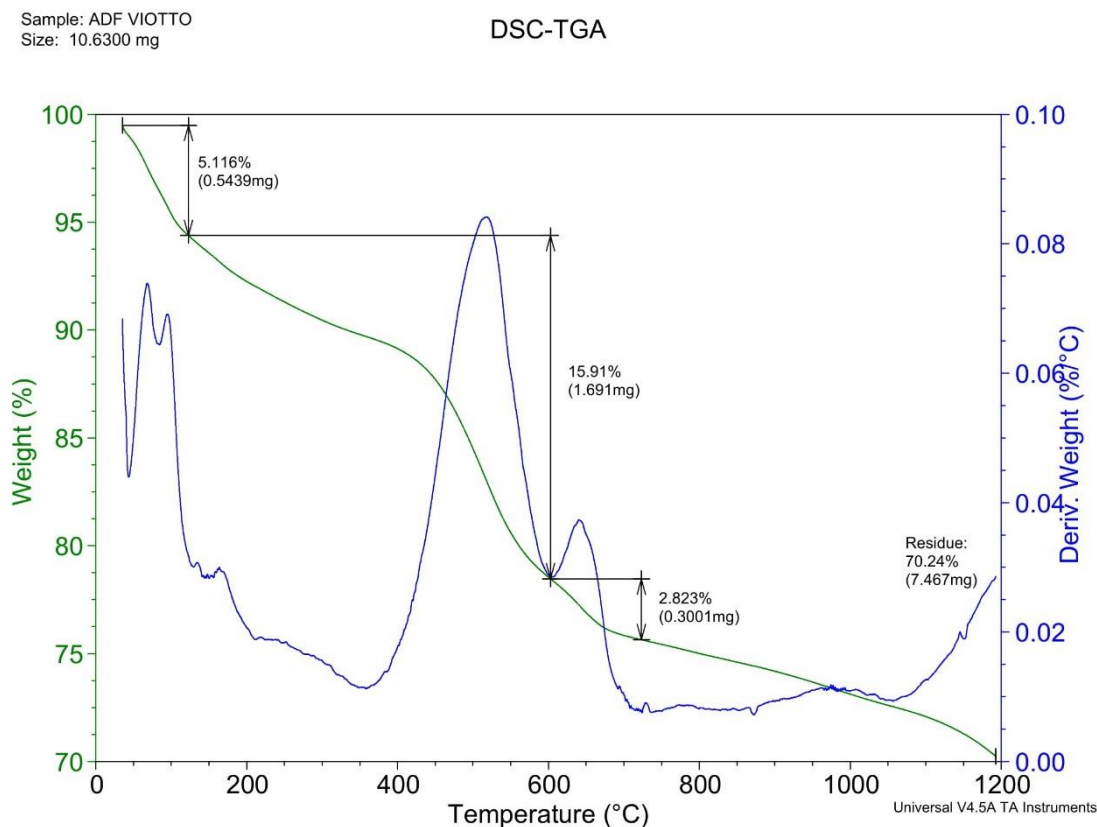


Fonte: O autor.

Na figura 17, estão apresentados a curva DSC e sua derivada da areia descartada de fundição. A 499,39°C, é observado um pico exotérmico que está associado a degradação da matéria orgânica. Um pico endotérmico em 573,64°C é possível associar a transição de fase  $\alpha$  quartzo ( $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>) para  $\beta$  quartzo ( $\beta$ -SiO<sub>2</sub>) (Doppler, 2014). O último pico endotérmico em 1120,25°C pode estar associado a possíveis frações inorgânicas do material.

#### 4.4 Análise Termogravimétrica (TG)

**FIGURA 18 - Termograma da ADF**

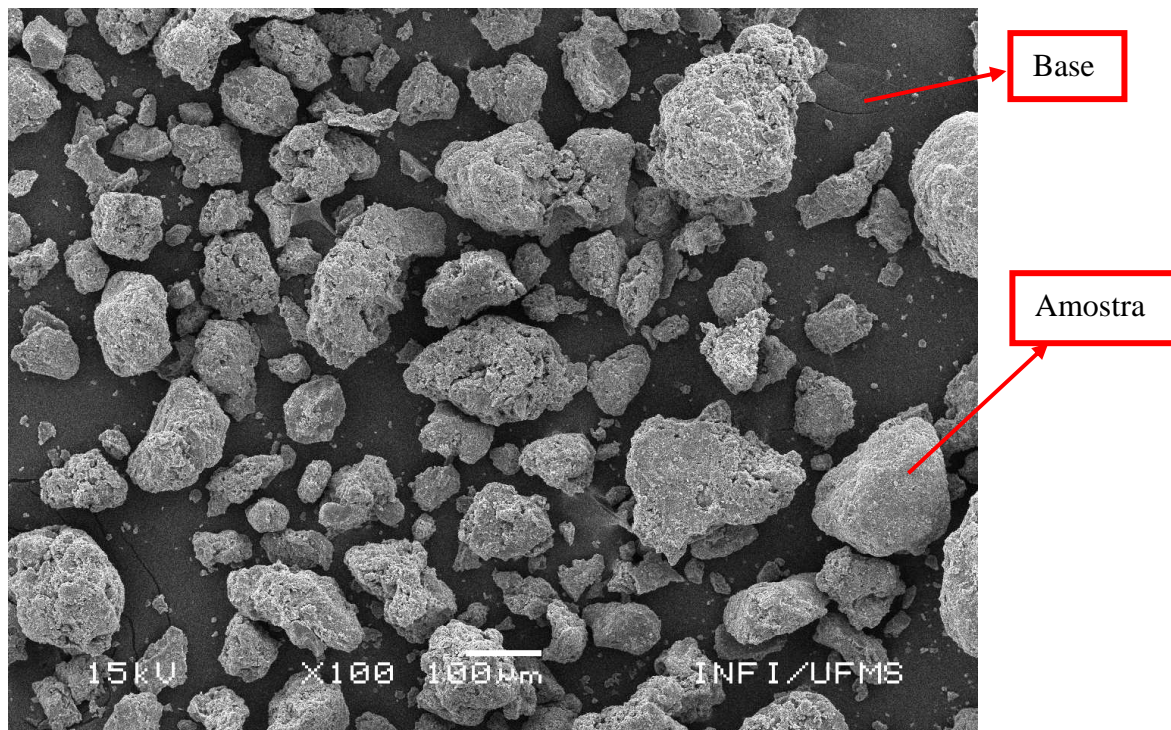


Fonte: O autor.

A Figura 18 apresenta o termograma de análise termogravimétrica (TG e DTG) da areia descartada de fundição – ADF. Observa-se que na faixa de temperatura de 30°C a 100°C, ocorre uma perda de massa (5,116%) correspondente à eliminação de água superficial da ADF. Outras duas perdas de massa (15,91% e 2,823%) ocorrem por volta de 100°C e se estendem até 725°C, e são referentes às perdas de água de hidróxidos da bentonita e a degradação do pó de carvão (material carbonáceo) (CANNON, VOIGT, s.d, s.p).

#### 4.5 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

**FIGURA 19** - Micrografia da ADF Obtida por MEV com Ampliação em 100x

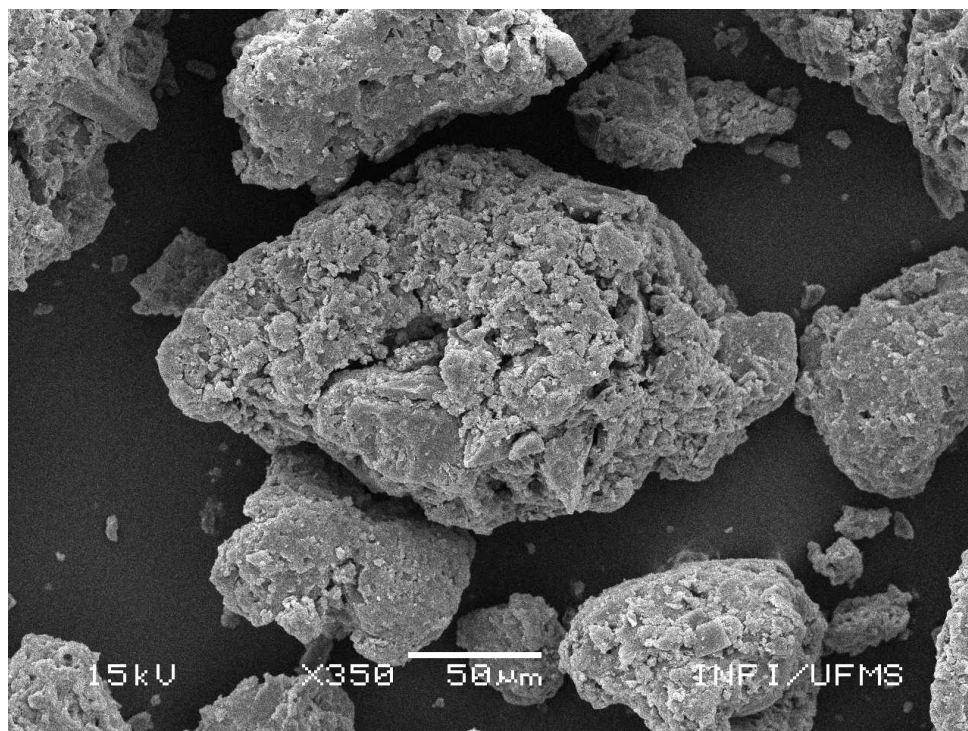


Fonte: O autor.

A Figura 19 apresenta a micrografia obtidas por MEV da ADF com ampliação de 100x. Observa-se que a ADF consiste basicamente em uma distribuição de grãos heterogêneos com superfície irregular e tamanhos variados.

A Figura 20 apresenta a micrografia obtida por MEV da ADF com ampliação de 350x. É possível observar com melhor resolução (350x) a presença de partículas menores em volta do grão da ADF. As partículas menores possivelmente estão associadas com a bentonita, pó de carvão e impurezas do processo de fundição. Estas partículas apresentam formato irregular com alto grau de porosidade, o que pode ser atribuído à exposição da areia a altas temperaturas durante o processo de fundição do metal líquido (HOSSINEY, 2018).

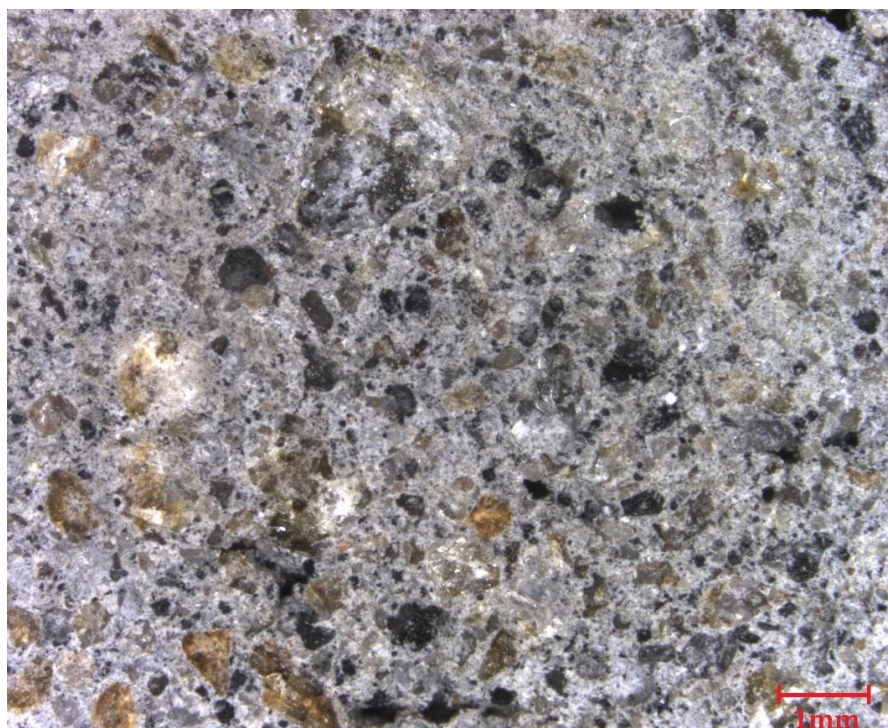
**FIGURA 20** - Micrografia da ADF Obtidas por MEV com Ampliação em 350x



Fonte: O autor.

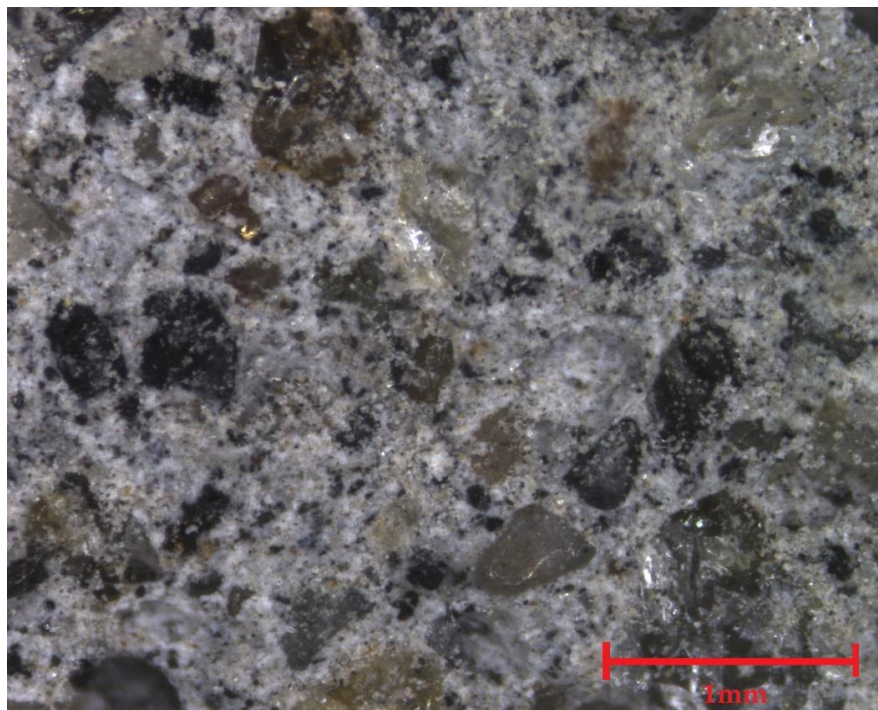
#### 4.6 Microscopia Óptica (MO)

**FIGURA 21** - Micrografia com Ampliação Nominal de 80x da Amostra



Fonte: O autor.

**FIGURA 22** - Micrografia com Ampliação Nominal de 300x da Amostra.



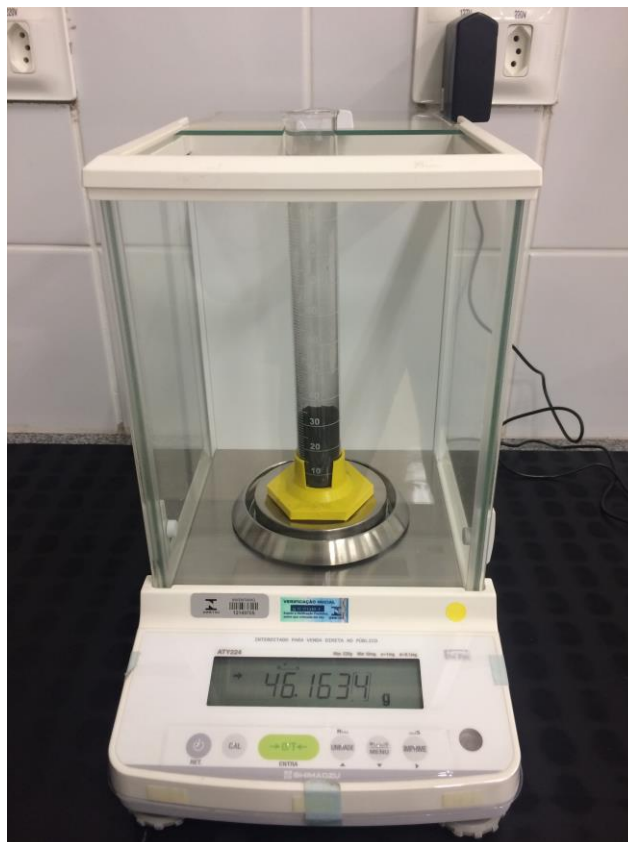
Fonte: O autor.

Na Figura 21, observa-se uma homogeneidade e distribuição entre a ADF, areia e cimento com a ampliação nominal de 80x. Na Figura 22, também é possível analisar as interações entre os grãos de forma benéfica ao estudo.

As informações fornecidas pela microscopia óptica permitem observar o comportamento da amostra com 20% de ADF na argamassa, avaliando sua boa interação entre os agregados.

#### 4.7 Ensaio de Densidade Aparente

**FIGURA 23** - Densidade Aparente da ADF



Fonte: O autor.

A Figura 23 mostra o ensaio da densidade aparente da ADF após sua compactação manual. Como podemos observar no visor da balança, temos a massa de 46,1634g, e um volume de 33mL. De acordo com a fórmula da densidade e sua metodologia de ensaio, temos que a densidade da ADF é de 1,3989 g/mL ou 1.398,89 kg/m<sup>3</sup>.

Para comparativos de areia convencional, também foi realizado o ensaio de densidade aparente, obtendo uma massa de 53,1175g para um volume de 33mL, resultando assim em uma densidade aproximada de 1,6096 g/mL ou 1609,62 kg/m<sup>3</sup>.

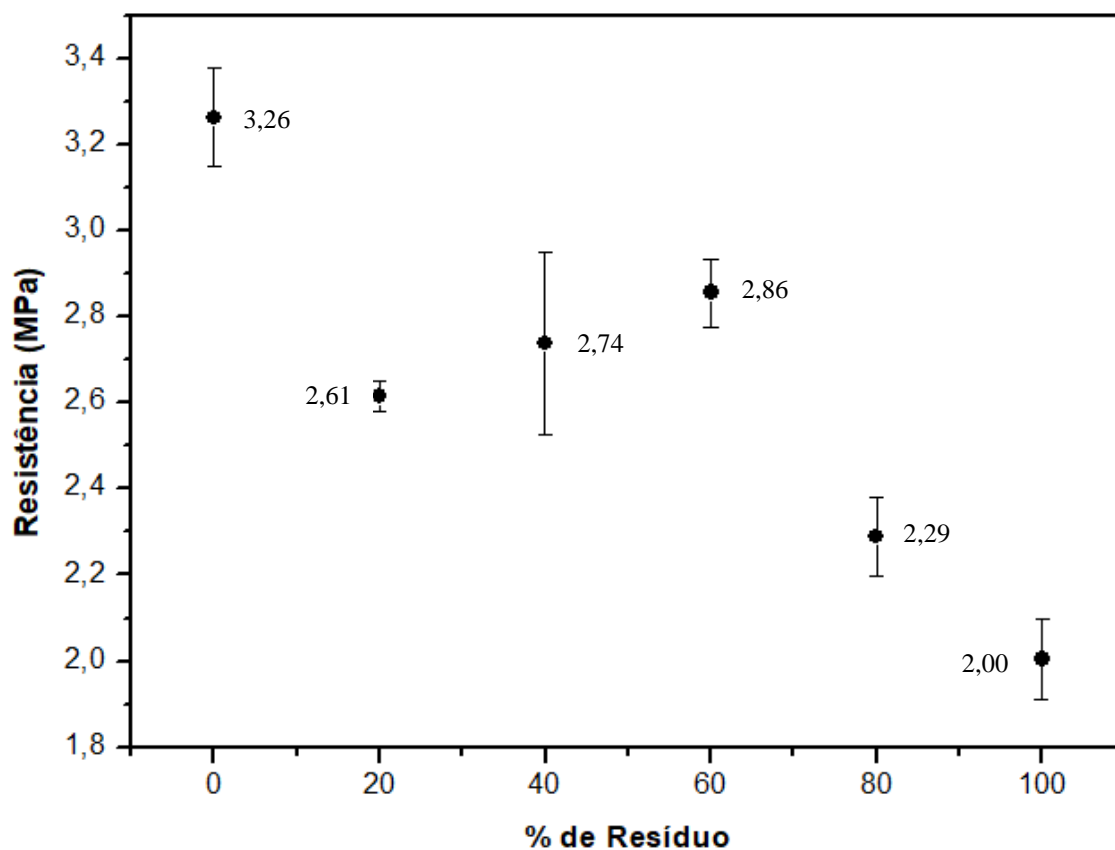
Portando, a ADF tem valores de mesma ordem de grandeza quando comparado a areia convencional utilizada em argamassas, o que resulta em uma semelhança entre os dois materiais. Um ponto a ser observado, é que a presença do pó de carvão na ADF, faz com que ela possua materiais voláteis, ou seja, ao realizar o ensaio de densidade aparente no



momento da compactação do material na proveta, suas partículas se dispersavam no ar.

#### 4.8 Ensaio de Tração na Flexão

**FIGURA 24** – Resultados do Ensaio de Tração da Flexão



Fonte: O autor.

A Figura 24 demonstra os resultados obtidos a partir do ensaio de tração na flexão. No eixo horizontal, temos as amostras com as proporções variando de 20 em 20% a substituição de areia convencional por ADF.

Para cada proporção, foram fabricadas três amostras, de tal modo que no eixo vertical temos o valor resultante da média alcançada por cada proporção, seguida de seu respectivo desvio padrão.

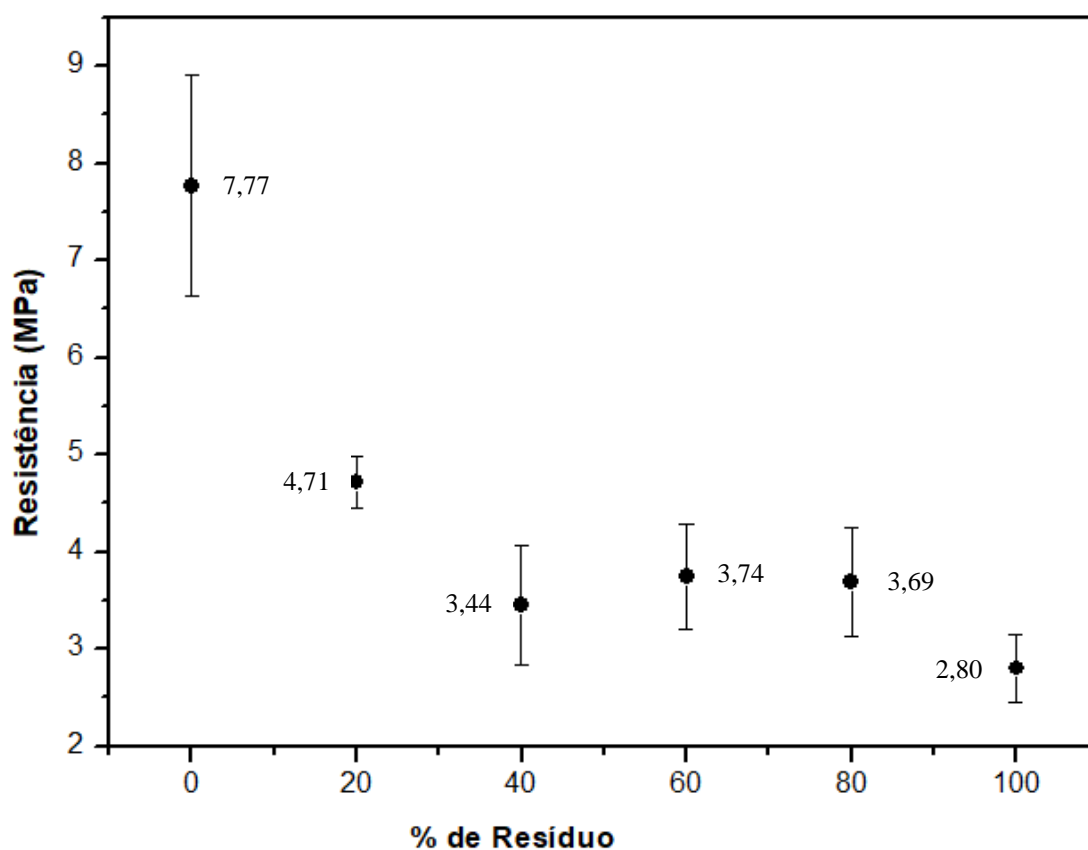
De acordo com os resultados obtidos no ensaio, pode-se notar uma redução de resistência fator este causado pela interação entre os materiais não serem tão boas como as da argamassa convencional, porém ela ainda se encontra dentro dos valores de resistência mínima para flexão.

No ensaio de tração, a amostra contendo ADF, com o maior valor resistência obtido foi a com 60% de ADF incorporada na argamassa alcançando 2,86 MPa de resistência.

A ABNT NBR 13281:2005 estabelece parâmetros de resistência mínima para a argamassa, sendo de 1,5 MPa para flexão, sobre o qual podemos concluir que todas as amostras se enquadram na normativa de valores mínimos de resistência.

#### 4.9 Ensaio de Compressão Axial

**FIGURA 25 – Resultados do Ensaio de Compressão Axial**



Fonte: O autor.

A Figura 25 apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio de compressão axial. Sendo que no eixo horizontal, temos novamente as amostras com a substituição de areia convencional por ADF, variando sua proporção de 20 em 20%. Para este ensaio, foram ensaiados seis corpos de

prova por amostra, portando, no eixo vertical temos o valor da média de tensão resultante de cada proporção, seguida de seu respectivo desvio padrão.

Em relação ao ensaio de compressão axial, a amostra de 20% de ADF incorporada na argamassa foi a que obteve o maior resultado em relação as demais fabricadas com a ADF, chegando em 4,71 MPa de resistência. Este resultado é resultante da boa interação entre os grãos dos materiais quando submetidos ao ensaio de compressão axial.

De acordo com a ABNT NBR 13281:2005 que estabelece parâmetros de resistência mínima para a argamassa, o requisito mínimo é de 1,5 MPa para compressão. Logo, pode-se concluir que todas as amostras se enquadram na normativa de valores mínimos de resistência.

## 5 CONCLUSÃO

Através da análise granulométrica, foi possível concluir que a ADF pode substituir a areia convencional utilizada em argamassas, proporcionando um material que se encontra dentro dos limites estabelecidos por norma.

O ensaio de difração de raio – X apresentou que a ADF possui a fase principal cristalina  $\alpha$ -quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) de acordo com trabalhos de pesquisadores da área, concluindo que a amostra de ADF analisada possui uma alta concentração deste material. Devido a composição da argamassa convencional, a mesma também possui o mesmo material em sua composição, o que possibilita as substituições da ADF.

Com o resultado da termogravimetria da ADF, observou-se a degradação da bentonita e pó de carvão mediante as perdas de massa apresentadas.

Na microscopia eletrônica de varredura, pode-se observar a morfologia dos grãos irregulares da ADF seguida de um recobrimento de outro material, que pode estar associado a bentonita e/ou pó de carvão presentes na ADF. Os grãos também apresentam porosidade, fator esse que beneficia a argamassa, dando mais aderência a mistura.

Os ensaios de tração na flexão e compressão axial comprovaram que todas as diferentes proporções de ADF incorporada nas argamassas (proporções de areia/ADF: 100/0; 80/20; 60/40; 40/60; 20/80; 0/100) atingiram a resistência mínima exigida por norma, tornando-a possível de utilização.

A microscopia óptica realizado para a área interna da argamassa com 20% de substituição, possibilitou a análise das interações entre os agregados, sendo eles areia convencional, ADF e o cimento Portland.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a ADF apresenta potencial de aplicação em diversas áreas da construção civil tal como na fabricação de argamassa de regularização. Todavia não se descarta demais aplicações, havendo a necessidade de outros estudos visando a análise química com interação de diferentes, tais como tintas e solventes, que por sua vez podem vir a causar danos ao usuário.

Assim, para trabalhos futuros, visam a realização de estudos para demais aplicações do material, tal como ensaios de durabilidade, degradação

do material, ataque biológico, lixiviação, separação em diferentes granulometrias para estudo específico de cada granulometria, dentre outros.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Agregados - Determinação da composição granulométrica** - NBR NM 248:2003 Rio de Janeiro – RJ, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Agregados para concreto - Especificação** - NBR 7211:2005 Rio de Janeiro – RJ, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão** - NBR 13279:2005 Rio de Janeiro – RJ, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos** - NBR 13281:2005 Rio de Janeiro – RJ, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova** - NBR 5738:2015 Rio de Janeiro – RJ, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos** - NBR 10005/2004 Rio de Janeiro – RJ, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos** - NBR 10006/2004 Rio de Janeiro – RJ, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Classificação de resíduos sólidos** - NBR 10.004:2004. Rio de Janeiro - RJ, 2004.

ALMEIDA, B. G. de et. al., **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3º Edição Revista e Ampliada. Capítulo 7, p.68. Brasília – DF. 2017.

Alonso-Santurde, R.; et al. **Technological behaviour and recycling potential of spent foundry sands in clay bricks**. Journal of Environmental Management 92 (2011) 994 – 1002. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-environmental-management>.

APFAE - ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS FABRICANTES DE ARGAMASSAS E ETICS. Disponível em: <http://www.apfac.pt/argamassas-de-construcao/>. Acesso em 01 de novembro de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). Produção de fundidos segue ascendente no primeiro quadrimestre do ano. Assessoria Imprensa ABIFA, 2018. Disponível em: <http://www.abifa.org.br/producao-de-fundidos-segue-ascendente-no-primeiro-quadrimestre-do-ano/>. Acesso em 02 de novembro de 2018.

BARGA, L.; et al. **DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF RECYCLED MORTAR WITH TOTAL AND PARTIAL REPLACEMENT OF THE SAND BY CONSTRUCTION AND DEMOLITION RESIDUE**. 7th International Congress on Ceramics (ICC 7), Foz do Iguaçu - PR, Brasil, 2018.

BONET, Ivan Ideraldo. **Valorização do Resíduo de Areia de Fundição (RAF). Incorporação nas Massas Asfálticas do Tipo C.B.U.Q.**. 2002. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, agosto de 2002.

CANNON, Fred S.; VOIGT, Robert C.; **NON-INCINERATION TREATMENT TO REDUCE BENZENE AND VOC EMISSIONS FROM GREENSAND SYSTEMS**. Penn State University, s.d, s.p.

CARNIN R.L.P.; SILVA C.O.; **DESENVOLVIMENTO DE PEÇAS DE CONCRETO (PAVER) CONTENDO AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**. 2010. Artigo técnico.

CARNIN, R. L. P.; et al. **Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado**. Artigo Técnico – Revista Pavimentação. 2010.

CASOTTI, Bruna Pretti; BEL FILHO, Egmar Del; CASTRO, Paulo Castor de. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33 , p. 121-162, mar. 2011. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1721>. Acesso em 01 de novembro de 2018.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA – CIMM. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/459-fundicao>. Acesso em 01 de novembro de 2018.

CETESB - **Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo**. –. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/>. Acesso em 02/05/2018.

CIMM - **Centro de Informação Metal Mecânica**. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/459-fundicao> Acesso em 02/05/2018.

Doppler, G.; Bakker, R. J.; **The influence of the  $\alpha$ - $\beta$  phase transition of quartz on fluid inclusions during re-equilibration experiments**. Lithos 198–199 (2014) 14–23. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024493714001017>.

Ebah. **Notas aula de Fabricação**. Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfxXYAK/notas-aula-fabricacao?part=3>. Acesso em 01 de novembro de 2018.

Furlani, E.; et al. **Preparation and characterization of sintered ceramics made with spent foundry olivine sand and clay**. *Ceramics International* 38 (2012) 2619–2625. Disponível em <https://www.journals.elsevier.com/ceramics-international>.

**GUIA ABIFA DE FUNDIÇÃO: ANUÁRIO 2016**. Associação Brasileira de Fundição. São Paulo: ABIFA, 2016.

HOSSINEY, Nabil; et al.; **In-plant production of bricks containing waste foundry sand—A study with Belgaum foundry industry**. *Case Studies in Construction Materials* 9 (2018) e00170. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/case-studies-in-construction-materials>. Acesso em 01 de novembro de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL – INEAM. Disponível em: <https://ineam.com.br/industria-do-parana-reutiliza-90-dos-residuos-gerados/>. Acesso em 01 de novembro de 2018.

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. XVII, n. 2, p. 36-45, dezembro 2009. RIO GRANDE DO SUL. **Lei Nº 9.921, de 27 de julho de 1993**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos, nos termos do artigo 247, parágrafo 3º da Constituição do Estado e dá outras providências. Disponível em: <http://www.proamb.com.br/downloads/mjea3g.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2018.

MACEDO Jr, W. D. **Caracterização de filmes de BaxSr1-xTiO3 sintetizados pelo método hidrotermal assistido por micro-ondas e depositados por eletroforese**. 2015. 60f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais). – UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2015.

Martini, N. C. **Reuso de Areia Descartada de Fundição para a Confecção de Blocos de Concreto Estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina – PR, Brasil, 2017.

OLIVEIRA, Débora Ferreira de. **Caracterização dos finos de areia de uma fundição e sua incorporação em argamassa de cimento**. 2014. 57 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/115565>.

PAULO, Raquel Sofia V. M. Nascimento; **Caracterização de Argamassas Industriais**. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, 2006.



REIS, Elton Aparecido Prado dos. **Compósitos preparados a partir de resíduo industrial de couro com elastômeros termoplásticos obtidos através de blendas de polietileno de baixa densidade e borracha natural.** 2014. 165 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/132840>>.

SANTOS, A. V. dos; et al. **Reaproveitamento de areia de fundição descartada em substituição da areia natural na fabricação de blocos estruturais de concreto.** VII International Symposium on Technological Innovation. Aracaju/SE – 21 a 23/09/2016. Vol. 3/n.1/p. 541 – 546.