

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS
CAMPUS DE BAURU

LUIS FERNANDO DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DAS AREIAS
DESCARTADAS DE FUNDIÇÃO (ADF) NA PRODUÇÃO DE BLOCOS
DE CONCRETO SEXTAVADO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**



**Pres. Prudente – SP
2019**

LUIS FERNANDO DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DAS AREIAS
DESCARTADAS DE FUNDIÇÃO (ADF) NA PRODUÇÃO DE BLOCOS
DE CONCRETO SEXTAVADO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Dissertação apresentada como
requisito à obtenção do título de
Mestre à Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” –
Programa de Pós-Graduação em
Ciências e Tecnologia de
Materiais, sob a orientação do
Prof. Dr. Silvio Rainho Teixeira

**Pres. Prudente – SP
2019**

S237c Santos, Luis Fernando dos
Caracterização e reaproveitamento das areias
descartadas de fundição (ADF) na produção de blocos de
concreto sextavado para pavimento intertravado / Luis
Fernando dos Santos. -- Presidente Prudente, 2019
72 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente
Prudente
Orientador: Silvio Rainho Teixeira

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LUIS FERNANDO DOS SANTOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 01 dias do mês de julho do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Sala de projeção do Laboratório de Caracterização de Resíduos Sólidos (FCT/UNESP), reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. SILVIO RAINHO TEIXEIRA - Orientador(a) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Profa. Dra. AGDA EUNICE DE SOUZA ALBAS do(a) Departamento de Física / UNESP/ Câmpus de Presidente Prudente, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LUIS FERNANDO DOS SANTOS, intitulada **CARACTERIZAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DE AREIAS DESCARTADAS DE FUNDIÇÃO (ADF) NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO SEXTAVADO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. SILVIO RAINHO TEIXEIRA

Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI

Profa. Dra. AGDA EUNICE DE SOUZA ALBAS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Judete Monsignatti e Jurandir Bispo, minha irmã Maraisa Monsignatti, por serem os responsáveis pela minha formação acadêmica e pela minha formação como homem. Também agradeço pelo amor, carinho e amizade em todos os momentos da minha vida. Obrigado por permitir que eu chegasse aqui. Ao Prof. Dr. Silvio Rainho pela oportunidade oferecida em seu laboratório, bem como pela valiosa orientação, apoio e amizade dedicados durante o meu mestrado, que me fortaleceram tanto pessoalmente como profissionalmente. Aos meus sobrinhos, João Marcos e Maria Julia, uma benção. Ao Prof. Dr. Joge Luiz Akasaki e Prof^a. Dra Agda Eunice pela colaboração durante a qualificação e defesa deste trabalho. Aos meus amigos da graduação, Jaqueline Nascimento, Daniel Angelo, Jessica Taeko e Airison Angeli, com vocês o curso de química valeu a pena. A incrível e admirável Fernanda, pela confiança, por estar sempre presente, mesmo que distante, durante esses anos. A Renata Magalhães pela parceria, conversas, suporte incondicional sobre as caracterizações e sempre presente no meu mestrado. A Sheila Barreto pela amizade sincera, companheirismo, desabafos, elogios e críticas que me ajudaram a construir esse trabalho. A Thariany, Francini e Victor Menezes pela amizade sincera. Aos engenheiros, Jose Augusto, Bruno Brito e Yann Bonilha (Enzo) pelas contribuições na área de engenharia. Aos integrantes do Laboratório de Gestão e Caracterização de Resíduos Sólidos (LCGRS), Vinicius, Valdinei, Douglas, Joao, Vitor, Glayson, Wagner, Wagner Dias, Leila, Joyce, Nathanael, Diogo, Fernanda e Camilla pela amizade, auxílio e compartilhamento de todos os momentos, bons e ruins, que, sem dúvida, fizeram a diferença em vários momentos de minha caminhada. Ao Isac e Wellington por disponibilizar o laboratório da Engenharia Civil para realização dos ensaios tecnológicos. Ao Fabio Friol e Peixoto, pela amizade, diálogos e saudáveis discussões no campo da ciência. Em especial, aos meus amigos Paulo Bortolotte, Irando Martins, Cleber Francisco, Alan Amorin, Caike Galbiate, Luis Otavio e Luiz Tadashi. As secretarias do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais (FC-Bauru) e do Departamento de Física (FCT-Presidente Prudente). As empresas de fundição de Presidente Prudente e Regente Feijó – SP.

RESUMO

O presente trabalho consistiu no reaproveitamento da mistura das areias descartadas de fundição (ADF-M) em substituição total ao agregado miúdo natural na produção de blocos de concreto sextavados para a aplicação em pavimento intertravado. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização química, estrutural, térmica das ADF e ADF-M. A Fluorescência de raios X constatou elevada presença de óxido de silício (SiO_2), determinando o elemento predominante nas ADF e ADF-M. Na análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS) foi identificada a presença de bentonita, pó de carvão e resinas fenólicas em volta dos grãos de óxido de silício (SiO_2), interferentes nas propriedades físicas e mecânicas. De acordo com as normas brasileiras NBR 10005 e 10006, a ADF-M foi classificada como resíduo classe II A, resíduo não perigoso e não inerte. Para a análise da influência da ADF-M no concreto, foram moldados corpos de prova e blocos de concreto sextavado com substituição total da areia natural pela ADF-M. O teste de abatimento de tronco cone apresentou consistência fluida após adicionado o aditivo. No que tange as propriedades físicas e mecânicas, tanto os corpos de prova como os blocos de concreto foram observados um aumento na absorção de água e uma diminuição de resistência à compressão em relação ao traço de referência. Os valores obtidos de absorção de Água ($\leq 6\%$) e resistência à compressão ($\geq 35\text{MPa}$) estão acima dos valores mínimos de acordo com as normas brasileiras para pavimento. Do ponto de vista econômico e ambiental, a ADF-M é viável para aplicação na construção civil.

Palavras-chave: resíduos industriais, areia descartada de fundição, blocos de concreto, reaproveitamento.

ABSTRACT

The present work consisted of the reuse of the spent foundry sand mixture (SFS-M) instead of the natural fine aggregate in the production of hexagonal concrete blocks for an interlocked pavement application. For this, chemical, structural and thermal characterization tests of the SFS and SFS-M were performed. X-ray fluorescence verified the presence of silicon oxide (SiO_2), determining the predominant element in SFS and SFS-M. Scanning electron microscopy (SEM / EDS) analysis identified bentonite, coal dust and phenolic resins around the silicon oxide (SiO_2) grains, interfering with physical and mechanical properties. Deficiency with NBR 10005 and 10006 standards, an SFS-M was used as class II A waste, non-hazardous and non-inert waste. For an analysis of the influence of SFS-M on concrete, specimens and hexagonal concrete blocks were molded with the total replacement of natural sand by SFS-M. The trunk taper test showed fluid consistency after the added or additive. Regarding the physical and mechanical properties, both specimens and concrete blocks were observed in an increase in water absorption and a reduction in pressure resistance in relation to the reference line. Water absorption ($\leq 6\%$) and compressive strength ($\geq 35\text{MPa}$) levels are above the minimum values according to the Brazilian pavement standard. From an economic and environmental point of view, an SFS-M is viable for civil construction applications.

Keywords: industrial waste, spent foundry sand, concrete blocks, reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado dos processos de fundição e de geração da areia descartada de fundição (PABLOS, 2009).....	4
Figura 2 - Fusão do (a) Ferro Fundido e (b) Alumínio (BALDAM, 2013)	6
Figura 3 - Carcaça para mineração (peça metálica) após desmoldada (esquerda) e finalizada após acabamento com tinta (direita).	7
Figura 4 - Areia descartada de fundição, localizadas em (a) Presidente Prudente e (b) Regente Feijó – SP	8
Figura 5 - Diferença visual entre a areia verde (esquerda) e areia descartada de fundição (direita).....	9
Figura 6 - Depósito de Resíduos Industrial – Itaúna, MG. (SINDIMEI,2018).....	10
Figura 7 - Tijolos maciços com ADF (adaptado por PABLOS, 2009)	11
Figura 8 - A esquerda, depósito e a direita blocos de concreto com ADF (ART BLOCOS, 2014)	12
Figura 9 - Vidro soda-cal com adição de ADF: (a) vidro de referência (b) até (f) variação na composição com 25% de ADF. (MARTINS, 2016).....	13
Figura 10 - Exemplo de peças de concreto do Tipo III	14
Figura 11 - Blocos de Concreto Sextavado 20x20x6cm (a) FCT – Unesp (b) Estacionamento do Euromarket, localizados na cidade de Pres. Prudente -SP.....	15
Figura 12 - Areias Descartadas de Fundição	16
Figura 13 - Areias Descartadas de Fundição (esquerda) e Betoneira (direita)	17
Figura 14 - Ensaio para determinar a massa específica das ADF e ADF-M.	23
Figura 15 - Componentes do traço (A) referência e (B) ADF -M	26
Figura 16 - (A) C.P.C traço referência (B) C.P.C traço ADF-M e (C) B.C. Sextavado traço ADF-M	27
Figura 17 - (A) C.P.C (1) traço referência (2) traço ADF-M (3) B.C. Sextavado traço ADF-M e (B) conjunto de B.C. Sextavado após 28 dias submerso em água com cal.	27
Figura 18 - Corpos de prova capeados com enxofre e submetidos ao ensaio de resistência à compressão.....	29
Figura 19 - (a) blocos de concreto sextavado (b) cortados e capeados com nata de cimento (c) nivelamento e (d) após capeamento.....	30
Figura 20 - Placas auxiliaadoras de 90 mm de diâmetro.....	30

Figura 21 - Blocos de concreto sextavado submetidos a ensaio de resistência à compressão.....	31
Figura 22 - Corpos de prova cilíndricos imerso em água	33
Figura 23 - Blocos de concreto imersos em água	34
Figura 24 - Blocos de Concreto Sextavado cortado para análise de microscopia óptica	35
Figura 25 - Difração de raios X realizada para as ADF e ADF-M.....	37
Figura 26 - Termogravimetria (TG) das ADF e ADF-M.....	38
Figura 27 - Derivada (DTG) das ADF e ADF-M.....	39
Figura 28 - Micrografias da ADF-M obtidas por MEV com ampliação em 100x	40
Figura 29 - Micrografias da ADF-M obtidas por MEV, com ampliação em 250x	41
Figura 30 - Micrografias da mistura da ADF-M obtidas por MEV com ampliação em 300x	41
Figura 31 - Histograma da ADF-M	42
Figura 32 - EDS da ADF-M -Intensidade versus energia	43
Figura 33 - Distribuição granulométrica da areia natural	48
Figura 34 - Distribuição granulométrica da ADF-M.....	52
Figura 35 - Realização do teste de abatimento de tronco do cone.....	54
Figura 36 - Resultados da resistência à compressão axial x idade dos corpos de prova e blocos de concreto sextavado	56
Figura 37 - Absorção de Água por imersão dos C.P.C.....	59
Figura 38 – Absorção de Água dos B.C.S.....	62
Figura 39 - Micrografia com ampliação nominal de 80x da área interna bloco de concreto sextavado	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção regional de fundidos em toneladas (t)	3
Tabela 2 - Composição química da ADF reportada por diferentes autores.....	9
Tabela 3 - Resistência característica à compressão	13
Tabela 4 - Amostras de ADF coletadas nas fundições de Presidente Prudente e Regente Feijó – SP	16
Tabela 5 - Conjunto de peneiras	22
Tabela 6 - Programa experimental dos ensaios do traço de referência e ADF-M	28
Tabela 7 - Valores característicos do fator multiplicativo p (NBR 9781).....	31
Tabela 8 - Composição química das ADF e ADF-M determinando por FRX.....	36
Tabela 9 - Padrões indexados para identificação das fases das ADF e ADF-M	38
Tabela 10 - Porcentagens de perda de massa envolvidas nas ADF e ADF-M.....	40
Tabela 11 - Spectrum da ADF-M em diferentes pontos aplicados.	44
Tabela 12 - Análise textural da ADF-M.....	45
Tabela 13 - Concentração de metais no lixiviado da ADF-M.....	46
Tabela 14 - Concentração de metais no solubilizado da ADF-M.....	47
Tabela 15 - Caracterização da areia natural	48
Tabela 16 - Caracterização da ADF 1	49
Tabela 17 - Caracterização da ADF 2	49
Tabela 18 - Caracterização da ADF 3	50
Tabela 19 - Caracterização da ADF 4	50
Tabela 20 - Caracterização da ADF 5	51
Tabela 21 - Caracterização da ADF-M	51
Tabela 22 - Massa específica dos agregados miúdos e graúdos.....	53
Tabela 23 - Resistência à compressão axial dos concretos de referência	54
Tabela 24 - – Resistência à compressão axial dos concretos de ADF-M.....	55
Tabela 25 - Resistência à compressão axial dos concretos de ADF-M.....	55
Tabela 26 - Resultados do Ensaio Absorção Por Imersão (28 dias) e Índice de Vazios para os corpos de prova cilíndricos (traço de referência).....	57
Tabela 27 - Resultados do Ensaio Absorção Por Imersão (28 dias) e Índice de Vazios para os corpos de prova cilíndricos (traço de ADF-M)	58
Tabela 28 - Resultados Ensaio Absorção Por Imersão (28 dias) dos blocos de concreto sextavado saturado e seco em estufa	60

Tabela 29 - Resultados Ensaio Absorção Por Imersão (28 dias) dos blocos de concreto sextavado	61
Tabela 30 - Custo de materiais utilizados para a produção de 780 blocos de concreto sextavado com o traço ADF-M.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Traço Referência para C.P.C	24
Quadro 2 - Traço ADF para C.P.C	25
Quadro 3 - Traço ADF para B.C. Sextavado	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c - Relação Água Cimento

ABIFA - Associação Brasileira de Fundição

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADF - Areia Descartada de Fundição

ADF-M – Mistura de Areias Descartadas de Fundição

AN – Areia Natural

AVF - Areia Verde de Fundição

B.C.S – Blocos de concreto Sextavado

B.C.S – TADF-M – Blocos de concreto Sextavado – Traço ADF-M

B.H. – Balança Hidrostática

CP – Cimento Portland

C.P – Corpo de Prova

C.P.C - TR – Corpos de Prova Cilíndricos – Traço Referência

C.P.C -TADF-M – Corpos de Prova Cilíndricos – Traço ADF-M

DRX - Difração de Raio X

E – Escória

EDS – Espectrometria de Energia Dispersiva

FCT – Faculdade de Ciência e Tecnologia

FRX - Fluorescência de Raio X

FRX – Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

LabCivil – Laboratório de Engenharia Civil

LCGRS – Laboratório de Caracterização de Resíduos Sólidos

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

M.F - modo de finura

MG – Minas Gerais

NBR - Norma Brasileira

P.F – Perda ao Fogo

TG – Termogravimetria

Unesp – Universidade Estadual Paulista

Unoeste – Universidade do Oeste Paulista

SUMÁRIO

Introdução.....	1
Objetivo Geral.....	2
Objetivos Específicos	2
1.1 - Fundição.....	3
1.2 - Processo de Fundição	4
1.3 - Areia Descartada de Fundição	7
1.4 - Destinação de Areia Descartada de Fundição	10
1.5 - Possibilidades de Reuso da ADF	11
1.6 - Blocos de Concreto	13
2.1- Materiais e Métodos	16
2.1.1 - Areia Descartada de Fundição.....	16
2.1.2 -Cimento.....	17
2.1.3 – Água.....	17
2.1.4 - Pedrisco	18
2.1.5. - Aditivo	18
2.2 - Caracterizações.....	18
2.2.1 - Fluorescência de raio X	18
2.2.2 - Difratometria de raio X	18
2.2.3 -Termogravimetria.....	18
2.2.4 - Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva	19
2.2.5. Lixiviação e Solubilização	19
2.2.6 - Análise Granulométrica.....	21
2.2.7 - Massa Específica.....	22
2.3 - Dosagem do Concreto.....	23
2.3.1 - O Processo de Cura.....	27
2.3.2 - Determinação das propriedades do concreto	28
2.3.3 - Resistência à Compressão Axial	28
2.3.4 -Absorção de Água por Imersão	32
2.3.5 - Microscopia Óptica.....	35
3.1 - Fluorescência de Raios X.....	36
3.2 – Difração de raios X	37
3.3 – Análise Termogravimétrica (TG).....	38
3.4 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	40
3.5 - Espectroscopia de energia dispersiva	42
3.6 - Análise Textural.....	45

3.7 - Lixiviação e Solubilização.....	45
3.8 - Análise Granulometria.....	47
3.9 - Massa específica.....	53
3.10 - Concreto no estado fresco	53
3.11 - Resistência à compressão Axial.....	54
3.12 - Absorção de Água por Imersão.....	57
3.12.1 - Corpos de Prova Cilíndricos	57
3.12.2 - Blocos de Concreto Sextavado.....	60
3.13 - Microscopia Óptica dos Blocos de Concreto Sextavado	62
3.14 - Viabilidade econômica ADF-M.....	63
REFERÊNCIAS	65
ANEXO.....	71
Carta traço referência.....	72
Espectros de Energia Dispersiva da ADF-M.....	72

INTRODUÇÃO

A grande quantidade de resíduos sólidos gerados a partir das indústrias de fundição tem levado pesquisadores a buscar soluções técnicas, econômicas, sociais e ambientais. Dentre os resíduos sólidos, a areia descartada de fundição é o resíduo sólido gerado em maior volume. Gerenciar a areia descartada de fundição tornou-se um dos principais desafios enfrentados, uma vez que as fundições se utilizam no seu processo industrial de grandes quantidades destes recursos naturais [1].

No Brasil, as pessoas físicas e jurídicas estão sujeitas às leis e regulamentações ambientais nas esferas federal e municipal. A Lei Federal nº 9.605, promulgada em 12 de fevereiro de 1998 – “Lei de Crimes Ambientais”, e regulamentada pelo Decreto Federal nº 3.179, de 21 de setembro de 1999, trouxe um impulso adicional à proteção jurídica do meio ambiente, estabelecendo sérias penalidades contra as pessoas físicas e jurídicas que cometerem violações ambientais [2]

Na esfera civil, conforme disposto na Lei nº 6.938, sancionada em 31 de agosto de 1981, os poluidores (pessoa física ou jurídica) são obrigados, independentemente da existência de culpa (responsabilidade objetiva), a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. Para que haja responsabilidade civil por dano ambiental, basta demonstrar a existência do dano e do nexo de causalidade entre a atividade exercida e o dano causado [3]

Estes resíduos sólidos industriais são de responsabilidade da entidade geradora, independentemente do volume de resíduo gerado. O reaproveitamento da areia descartada de fundição, seja no reuso, ou na reciclagem (primária e secundária), traz grandes benefícios para o meio ambiente e para as indústrias do seguimento.

A possibilidade da reciclagem secundária da areia descartada de fundição está relacionada, principalmente, com a construção civil, produzindo reais efeitos na diminuição da degradação do meio ambiente. O trabalho mostra uma alternativa para o reaproveitamento das areias descartadas de fundição, baseando-se em resultados obtidos através da caracterização e ensaios laboratoriais de blocos de concreto para pavimento intertravado, dando uma aplicação direta para o resíduo.

Segundo a ABIFA – Associação Brasileira de Fundição e órgãos ambientais do Brasil [4], neste trabalho, a areia descartada de fundição será representada pela sigla ADF. A mistura das areias descartadas de fundição será apresentada nos próximos capítulos dessa dissertação pela sigla ADF-M.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Caracterizar a mistura das areias descartadas de fundição (ADF-M) e reaproveitar a ADF-M como agregado miúdo, na produção de blocos de concreto sextavado para pavimento intertravado.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

Executar ensaios de caracterização química, física e térmica das areias descartadas de fundição (ADF) e da mistura das areias descartadas de fundição (ADF-M)

Realizar ensaios de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva da ADF-M.

Determinar a massa específica da areia natural, das ADF e ADF-M

Determinar a granulometria e modo de finura da areia natural, das ADF e ADF-M pelo ensaio de Análise Granulométrica.

Compor conjuntos de corpos de prova e blocos de concreto sextavado, substituindo totalmente o agregado miúdo natural pela ADF-M.

Avaliar a propriedade mecânica (resistência a compressão) e durabilidade (absorção de Água) dos corpos de prova e blocos de concreto.

Realizar análise de microscopia ótica da área interna dos blocos de concreto sextavado.

Realizar um levantamento da viabilidade de produção dos blocos de concreto sextavado.

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 - Fundição

A fundição de ferro fundido e aço consistem basicamente no processo de fusão do metal (sucatas metálicas), transformando-o em um líquido homogêneo. Em seguida ocorre o vazamento do metal líquido em moldes adequados, onde, após a solidificação, resulta em uma peça de forma sólida adequada [5].

De acordo com os dados da ABIFA [4], em 2017 foram produzidas aproximadamente 2.215.727 toneladas de produtos fundidos. Observa-se na tabela 1, que as regiões com maior produção são as regiões Sul (principalmente o estado de Santa Catarina), São Paulo e Centro de Minas Gerais, respectivamente.

Tabela 1 - Produção regional de fundidos em toneladas (t)

Região	2013	2014	2015	2016	2017
Centro/MG	748.286	594.594	527.592	472.534	517.290
Norte/NE	109.136	70.870	57.293	45.935	59.844
R. de Janeiro	204.100	190.615	122.308	152.308	154.225
São Paulo	987.856	927.347	834.617	698.541	595.429
Sul	1.022.060	953.815	774.087	774.090	888.597
Total (t)	3.071.438	2.737.241	2.315.897	2.102.950	2.215.727

Fonte: ABIFA, 2017

Nas indústrias de fundição, os principais produtos fabricados são peças de fundidos (branco, cinzento e nodular), alumínio e ligas metálicas complementares. Em contrapartida, para atender a demanda dos setores automobilísticos, doméstico, agroindustrial e bélico, as fundições utilizam insumos, tais como, areia, água, bentonita, pó de carvão e energia elétrica para a produção das peças metálicas [6].

Vale ressaltar que, nem todos os insumos que entram no processo de fundição, são convertidos em produtos finais. Muitas vezes são transformados em resíduos, como a areia descartada de fundição, escória, pó de exaustão e gases tóxicos [4].

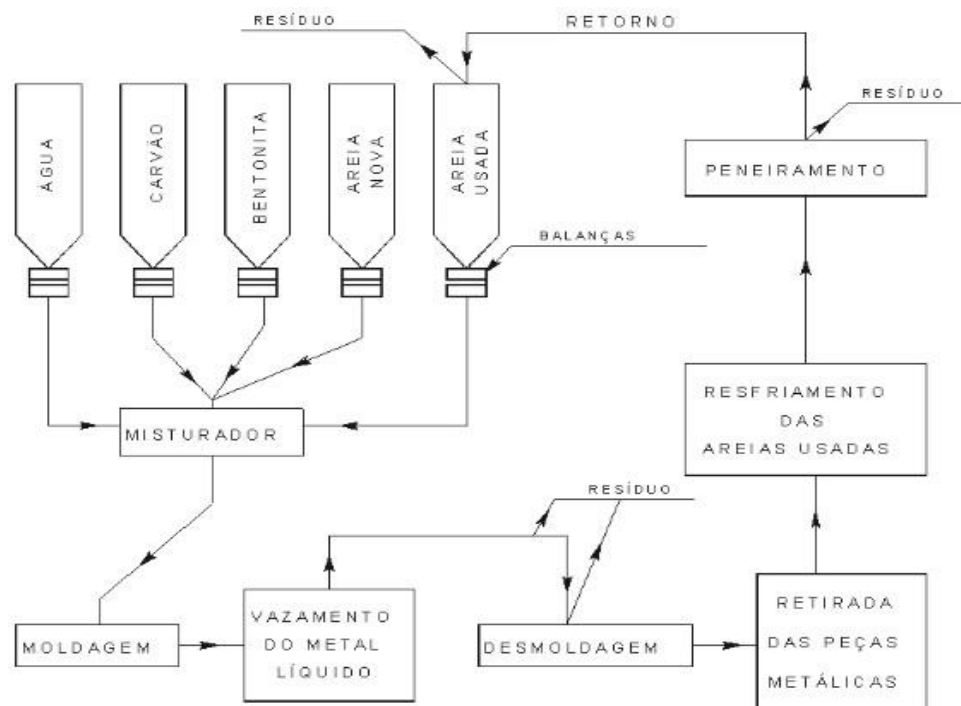
Estima-se que para cada 1 kg de metal produzido é consumido de 0,8 a 1 kg de areia utilizada no processo de fundição. Logo, a areia utilizada no processo

torna-se areia descartada de fundição (ADF) [5][6]. Só no ano de 2017 foram gerados cerca de 2 milhões de toneladas de metal, o que alcança aproximadamente na mesma quantidade de areia descartada de fundição.

1.2 - Processo de Fundição

A fundição de fundidos e alumínio é o método mais viável para se obter uma peça com acabamentos e propriedades mecânicas desejadas. Consiste, primeiramente, em verter o metal líquido em caixas de moldagem, com machos montados em seu interior, que caracterizará a peça após a solidificação do metal [7][8]. Na figura 1 [9] está representado o processo de fundição simplificado.

Figura 1 - Fluxograma simplificado dos processos de fundição e de geração da areia descartada de fundição (PABLOS, 2009)



O início do processo da fundição consiste primeiramente na escolha da peça a ser fundida. As peças produzidas pelas fundições atendem ao mercado automobilístico, agroindustrial, doméstico e bélico [10]. Existem uma classe de peças metálicas e não metálicas, em que as peças metálicas podem constituir de

ferro fundido cinzento, nodular ou branco, cujo ponto de fusão chega a 1400°C, enquanto o alumínio possui ponto de fusão de aproximadamente 600°C [11].

As etapas de fundição estão descritas numericamente a seguir:

1 - Toda fundição trabalha com encomenda de seus produtos. O início do processo dá-se no misturador. Há o preparo da areia verde, conhecida como areia de moldagem. A areia verde é adicionada em um misturador pneumático juntamente com bentonita (argila), pó de carvão (material carbonáceo) e água. A utilização da areia verde (areia natural) no processo de fundição, é devido à sua refratariedade, apresenta boa coesão com a argila e com os aditivos (pó de carvão), facilidade de obtenção dos moldes¹ e a reutilização da areia após a desmoldagem das peças metálicas [12].

A areia siliciosa possui grão de forma predominante sub angular e/ou arredondados, com teor de, aproximadamente 98% de sílica. A bentonita é uma argila responsável pela coesão da areia quando em contato com a água no misturador. A bentonita, quando em contato com a mistura, proporciona plasticidade e consistência no molde [13]. A função da água na mistura é tornar possível a propriedade coesiva, através da tensão superficial e sua dosagem deve ser muito precisa [13] [14]. O pó de carvão, também é conhecido na fundição como Cardiff, e do ponto de vista técnico como elemento carbonáceo [15]. O pó de carvão impede o contato diretamente do metal líquido com a areia verde [13].

A quantidade das matérias-primas adicionadas no misturador é influenciada pelo tamanho da peça metálica a ser produzida, controlado por sistemas automáticos.

2 - Após boa homogeneidade das matérias-primas no misturador, é realizada a compactação da areia de moldagem em torno do modelo² [16]. O modelo poder ser produzido manual ou automática, dependendo da necessidade de cada empresa. Caso a fundição produza peças fundidas com elementos vazados e cavidades internas, há necessidade da inserção do macho³. O macho é produzido

¹ **Moldes:** O molde tem por função oferecer o formato negativo da peça na qual será vazado o metal líquido. O molde é feito por empacotamento da areia, em torno do modelo, toda a estrutura contida numa caixa de moldagem. O molde é feito em duas partes: um superior (caixa superior) e outra inferior (caixa inferior)

² **Modelo:** O modelo trata-se de uma réplica perfeita da peça que será produzida acrescida nas dimensões definidas por cada fundição.

³ **Macho:** Algumas peças a serem fundidas podem apresentar detalhes e cavidade. O macho, colocado no interior do molde em areia, que apresentam detalhes necessários para que após o vazamento e sua remoção do interior da peça deixem a forma desejada.

no setor denominado Macharia, onde em muitas empresas de fundição utilizam resinas fenólicas com a areia verde [17]. As resinas fenólicas são compostos orgânicos, produzidos por meio de reações químicas de condensação entre um fenol e um aldeído, que juntamente com um catalisador, ligam quimicamente os grãos de areia (SiO_2) [18].

3- Após confeccionado o molde superior, inferior e adicionado o macho, é implementado o canal, orifício que permite a entrada do metal líquido no molde fechado (Figura 2) [19].

Figura 2 - Fusão do (a) Ferro Fundido e (b) Alumínio (BALDAM, 2013)



4 -Após o metal líquido, ter preenchido completamente o molde (Figura 2), ocorre o processo de resfriamento das peças.

Cabe salientar que o processo de resfriamento varia de fundição para fundição. Dependendo do tempo de resfriamento, a microestrutura e dureza da peça é afetado [20]. Em seguida, a peça é desmoldada e direcionada para o setor de limpeza e acabamento (Figura 3). O macho presente dentro do molde se desfaz, pois é constituído de resinasfenólicas, que se volatiliza a aproximadamente 300°C [21].

Figura 3 - Carcaça para mineração (peça metálica) após desmoldada (esquerda) e finalizada após acabamento com tinta (direita).



Fonte: O autor

5 - A areia que foi desprendida da peça metálica pode ser recuperada. Retorna através de esteiras para o início do processo de moldagem (misturador). A bentonita aderida à areia perde a sua capacidade de aglomerante, uma vez que uma parcela da umidade evapora, e, o pó de carvão é parcialmente destruído ou alterado [22]. Em algumas empresas, utiliza-se 70% de areia recuperada, junto com a correção e incorporações das matérias-primas (areia verde, bentonita, pó de carvão e água). No que se refere às porcentagens mencionadas, esses valores podem ser alterados de processo para processo de fundição.

Devido à perda de volume e descaracterização excessiva das matérias-primas, a areia recuperada torna-se ADF, uma vez que a areia recuperada não consegue mais desempenhar seu papel como molde. Caso a fundição utilize areia recuperada com as perdas de suas características, o resultado pode apresentar defeitos como escamação e rugosidade nas peças fundidas [22] [23]. Durante o vazamento do metal líquido, a bentonita perde a sua propriedade plástica, resultando em uma redução progressiva em sua coesão, logo sendo necessária, uma reposição constante dessa matéria-prima na areia verde de fundição (AVF) [24].

1.3 - Areia Descartada de Fundição

A areia descartada de fundição (Figura 4), denominado ADF, representa um dos resíduos sólidos industriais de maior volume de produção entre as fundições

[25]. Suas propriedades físicas e químicas dependem, em grande parte do tipo de processo de fundição adotado pela empresa.

De acordo com a NBR 10004 - *Classificação de Resíduos Sólidos Industriais*, a ADF é classificada com resíduo sólido não perigoso (Anexo H) [26]. A ADF possui coloração preta e/ou cinza devido à presença do pó de carvão, uma vez que é utilizada junto com a bentonita no processo de moldagem, [27]

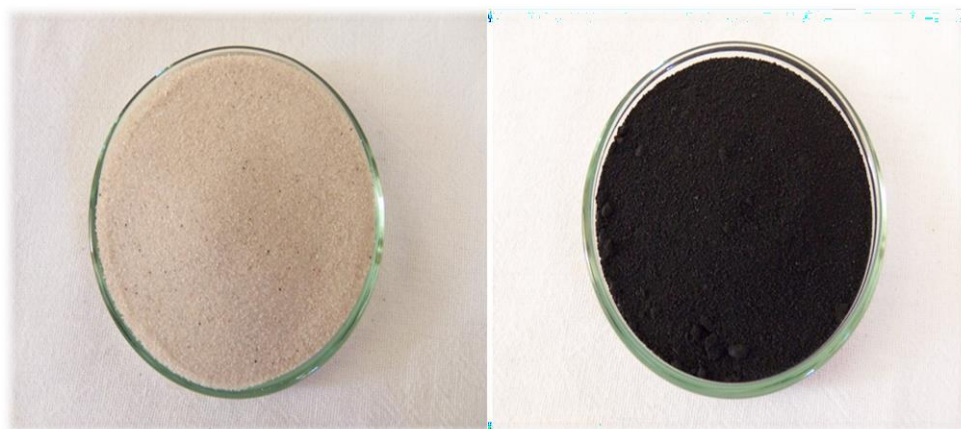
Figura 4 - Areia descartada de fundição, localizadas em (a) Presidente Prudente e (b) Regente Feijó – SP



Fonte: O autor

O elemento químico predominante nas areias descartadas de fundição é o óxido de silício (SiO_2), e é revestido com uma camada de carbono queimado (pó de carvão), aglutinante residual, como a bentonita e resinas fenólicas, que não foram degradadas [28]. Na Figura 5, está representada a diferença de cor da areia verde e da ADF. O teor de sílica na ADF é inferior à areia verde utilizada no processo de moldagem, em razão da presença dos aditivos.

Figura 5 - Diferença visual entre a areia verde (esquerda) e areia descartada de fundição (direita).



Fonte: O autor

Na Tabela 2, é relatado por diferentes autores a composição química da ADF de diferentes processos de fundição realizados pelo ensaio de Fluorescência de Raios X.

Tabela 2 - Composição química da ADF reportada por diferentes autores.

Constituintes	American F. Society [28]	Etxeberria et al. [29]	Sahmaran et al. [30]	Basar et al. [27]	Singh and Siddique [31]	Prabhu et al. [26]
SiO₂	87,91	84,90	76,0	81,85	83,8	87,48
Al ₂ O ₃	4,70	5,21	4,45	10,41	0,81	4,93
Fe ₂ O ₃	0,94	3,32	5,06	1,82	5,39	1,31
CaO	0,14	0,58	3,56	1,21	1,42	0,22
MgO	0,30	0,67	1,98	1,97	0,86	0,18
SO ₃	0,09	0,29	-	0,84	0,21	0,07
MnO	-	0,08	0,46	-	0,047	-
TiO ₂	0,15	0,19	0,17	-	0,22	-
K ₂ O	0,25	0,97	1,20	0,494	1,14	-
P ₂ O ₅	-	0,05	0,04	-	-	-
Na ₂ O	0,19	0,50	0,38	0,764	0,87	-
P.F	5,15	2,87	5,85	6,93	-	5,81

Fonte: O autor

1.4 - Destinação de Areia Descartada de Fundição

Um dos principais problemas das empresas de fundição é o custo cada vez maior para a destinação da areia descartada de fundição, que representa uma das maiores despesas do setor [32, 33, 35]. A ADF é classificada com resíduo classe II A, não perigoso e não inerte [34,36].

Neste sentido, a ADF não pode ser destinada em aterro sanitário comum. A destinação deve ser feita em um aterro sanitário industrial e licenciado, conforme a legislação e NBR15702 - *Areia descartada de fundição - Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário* [37]. Os custos para a destinação da ADF continuarão crescendo, devido à distância percorrida entre empresas e aterro. Outro fator que encarece a destinação é a quantidade de tonelada de ADF gerada, e quanto maior for a quantidade de ADF gerada, maior será o custo para a empresa destina-la ao aterro industrial [38].

O Depósito de Resíduos Industriais do Sindimeí, é um aterro localizado em Itaúna -MG, que recebe um volume médio de 20.000 toneladas/ano - apenas do resíduo Areia Descartada de Fundição - ADF, previamente classificado, através de laudo comprobatório, de acordo com a ABNT NBR 10004/2004 como Resíduo Classe II (não perigoso) [39]. Na Figura 6 [39], são apresentadas as plataformas para deposição das areias descartadas de fundição deste aterro.

Figura 6 - Depósito de Resíduos Industrial – Itaúna, MG. (SINDIMEI,2018)



Os custos cada vez mais elevados para os descartes em aterros industriais licenciados, bem como a busca pelas certificações ambientais, estimulou as pesquisas e as fundições a buscarem alternativas para o reaproveitamento da ADF.

1.5 - Possibilidades de Reuso da ADF

A construção civil é a área que vem crescendo com as possibilidades de reaproveitamento das ADF. Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas buscando minimizar o descarte em aterro sanitários, através da incorporação e/ou adição da ADF, no desenvolvimento de novas matérias.

Pablos, J., Sichieri, E., & Izeli, R. (2009) investigaram a viabilidade técnica da reutilização da areia descartada de fundição para aplicação de tijolos maciços (Figura 7). A ADF empregada na pesquisa apresentou caracterização que o classifica como não perigo e não inerte (Classe IIA). Os tijolos maciços com incorporação de ADF, apresentaram resistência à compressão aos 28 dias de 4,4 MPa e absorção de água de 11,3%. Portanto, os tijolos maciços atendem aos critérios de aceitação estabelecidos pela especificação brasileira [9].

Figura 7 - Tijolos maciços com ADF (adaptado por PABLOS, 2009)



Guerino, K.B et.al (2016) [40] produziu cerâmicas brancas axiais com a substituição à sílica por até 45% de areia descartada de fundição. Os resultados apontaram que a temperatura ideal para a queima das cerâmicas brancas axiais contendo ADF é 1250°C, sendo os corpos de prova avaliados segundo as normas

NBR 10005 e 10006, foram classificados como Classe II, não perigoso e não inerte, segundo os parâmetros estabelecidos pela norma NBR 10004.

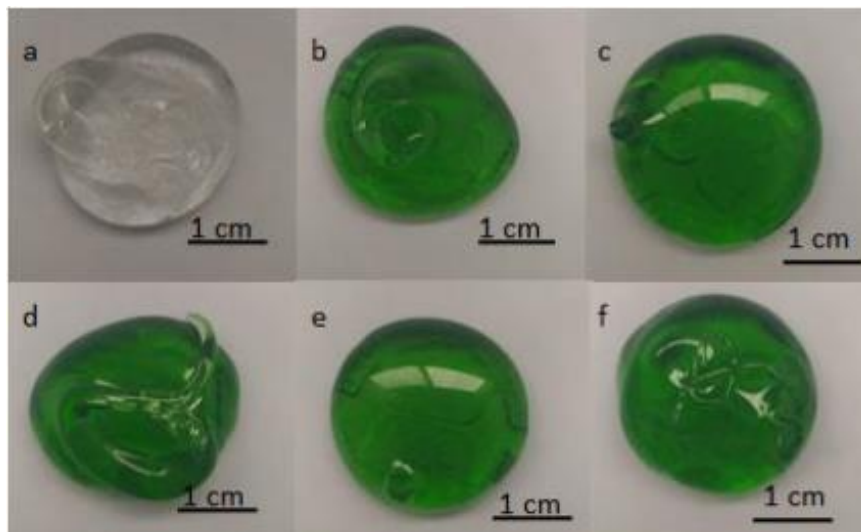
Em 2014, a empresa Art Blocos Ltda, em parceria com a fundição Imbil - Indústria e Manutenção de Bombas Ltda, estabelecidas no município de Itapira/SP, utilizou, aproximadamente, 500 toneladas mensais de areia descartada de fundição para produzir blocos de concreto. Ambas as empresas possuem o licenciamento ambiental específico fornecido pela Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) para o reaproveitamento da areia descartada de fundição (ADF). Este projeto pioneiro demonstra o avanço brasileiro do setor de fundição e de construção civil para as ações que conduzam a uma produção sustentável [41]

Figura 8 - A esquerda, depósito e a direita blocos de concreto com ADF (ART BLOCOS, 2014)



Além das aplicações para blocos de concreto e cerâmicas brancas axiais, a ADF também mostra a possibilidade de ser reaproveitada, devido à alta concentração de óxido de silício (SiO_2). Martin A et. al. (2016) [42], substituíram parcialmente a sílica de um vidro soda-cal pela ADF. Os resultados apontaram que até 25% de substituição ADF é viável, apresentando um vidro com coloração verde. A mudança de coloração do vidro transparente para a cor verde está relacionada ao óxido de ferro presente na ADF.

Figura 9 - Vidro soda-cal com adição de ADF: (a) vidro de referência (b) até (f) variação na composição com 25% de ADF. (MARTINS, 2016).



1.6 - Blocos de Concreto

Os blocos de concreto, como descreve a NBR 9781 (2013) - peças de concreto para a pavimentação – especificações e métodos de ensaio [43], são peças pré-moldadas de concreto, utilizadas para a construção de pavimentos ou calçamentos. Sua camada superficial apresenta acabamento confortável para o trânsito de pessoas e sua estrutura permite suportar o trânsito de veículos leves ou pesados, conforme a categoria e aplicação [44]. Conforme a NBR 9781 (2013), as especificações de resistência à compressão estão representadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à Compressão (f_{pk}) aos 28 dias
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais	$\geq 35 \text{ MPa}$
Trafego de veículos especiais	$\geq 50 \text{ MPa}$

Fonte: NBR 9781 (2013)

A pavimentação intertravada com blocos de concreto tem, como principal característica, o fato de ser simplesmente assentada, devidamente confinada, sobre uma camada de areia que serve de regularização da base e atua na distribuição das cargas e acomodação das peças [45]

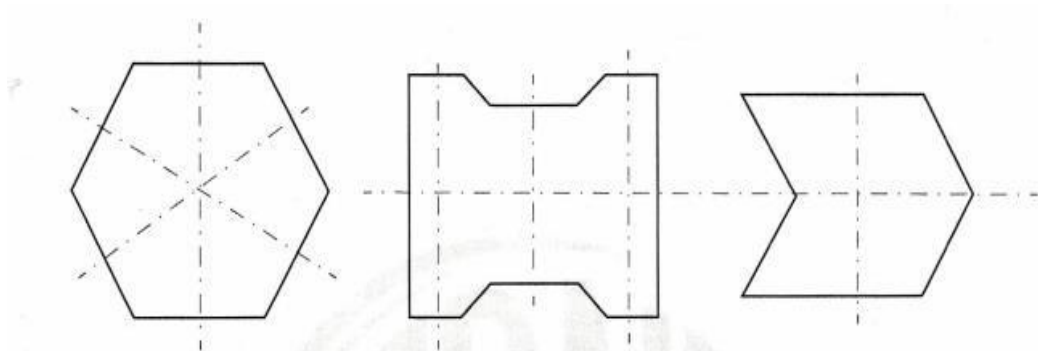
O conceito básico desse tipo de pavimentação é o intertravado, ou seja, a transmissão de parte da carga de uma peça para a peça vizinha através do atrito lateral entre elas. Outra característica desse sistema é o fato de ser levemente permeável, pois permite a passagem de uma pequena parte de água da chuva para o solo através das juntas [45] [46].

O fato de ser mais claro do que o asfalto proporciona ao bloco de concreto menor absorção de calor proveniente dos raios solares, fato que se traduz em maior conforto térmico superficial. A propriedade diferencial é que o bloco de concreto pode ser desmanchado e reconstruído com 100% de aproveitamento das peças [47].

O bloco de concreto sextavado, em formato hexagonal, é muito utilizado como material para pavimentação intertravado, por apresentar instalações simples e excelentes resultados estéticos para o projeto. Sua forma hexagonal permite o encaixe perfeito entre as peças, auxiliando na transferência de cargas e escoamento das águas pluviais [48].

De acordo com a NBR 9781:2013 [43], os blocos de concreto sextavado são classificados como peças do tipo III “peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros”, conforme ilustra a Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de peças de concreto do Tipo III



Fonte: NBR 9781 (2013)

Na Figura 11, são apresentados dois estabelecimentos com pavimento intertravado com blocos de concreto sextavado com dimensões de 20x20x6cm.

Figura 11 - Blocos de Concreto Sextavado 20x20x6cm (a) FCT – Unesp (b) Estacionamento do Euromarket, localizados na cidade de Presidente Prudente - SP



CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1- Materiais

2.1.1 - Areia Descartada de Fundição

As areias descartadas de Fundição para esta pesquisa provêm de cinco empresas de Fundição, situadas nos municípios de Presidente Prudente e Regente Feijó - SP, conforme descreve a Tabela 4. As ADF provêm de fundição de ferro fundido e alumínio, as empresas utilizam areia de moldagem a verde (bentonita, pó de carvão e água) e machos constituídos de resinas fenólicas para a produção das peças metálicas. Observa-se, conforme a Figura 12, que a cor característica das cinco ADF varia entre preto a cinza.

Tabela 4 - Amostras de ADF coletadas nas fundições de Presidente Prudente e Regente Feijó – SP

Fundição	Produto	Quantidade coletada
ADF 1	Ferro Fundido e Alumínio	10 kg
ADF 2	Ferro Fundido e Alumínio	10 kg
ADF 3	Ferro Fundido	10 kg
ADF 4	Ferro Fundido	10 kg
ADF 5	Ferro Fundido	10 kg

Fonte: O autor

Figura 12 - Areias Descartadas de Fundição.



Fonte: O autor

As ADF das cinco empresas de fundição, totalizando 50 kg, foram misturadas, utilizando uma betoneira, conforme demonstra a Figura 13, e posteriormente caracterizadas.

Figura 13 - Areias Descartadas de Fundição (esquerda) e Betoneira (direita)



Fonte: O autor

2.1.2 -Cimento

O cimento utilizado para a produção dos corpos de prova e blocos de concreto sextavado foi o Cimento de alta resistência inicial (ARI) indicado pelo fabricante, que possui alta resistência inicial nas primeiras idades, adquirido no mercado comum de produtos e insumos da construção civil.

2.1.3 – Água

A água utilizada foi fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) de Presidente Prudente e coletada diretamente do Laboratório de Engenharia Civil da Unoeste – LabCivil.

2.1.4 - Pedrisco

A pedrisco foi fornecido pela empresa Salioni Concreto e Argamassa – Presidente Prudente – SP e coletada diretamente do Laboratório de Engenharia Civil da Unoeste – LabCivil.

2.1.5. - Aditivo

O aditivo (plastificante) foi fornecido pela empresa Jomane - Concretagem e Serviços, Presidente Prudente – SP.

2.2 - Caracterizações

Neste item será descrito as técnicas de caracterização das ADF e ADF-M.

2.2.1 - Fluorescência de raio X

O ensaio de Fluorescência de raio X (FRX) foi realizado para determinar a composição química [49] e as suas respectivas concentrações presentes nas ADF e ADF-M. Foi utilizado um equipamento de fluorescência de raios x da marca Shimadzu, modelo XRF-700, localizado no Laboratório de Caracterização de Resíduos Sólidos – LCGRS, FCT- Unesp.

2.2.2 - Difração de raios X

O ensaio de Difração de raios X (DRX) consiste em identificar as fases cristalinas [50] das ADF e ADF-M. Os espectros de difração de raios X foram obtidos utilizando um difratômetro da marca Shimadzu modelo DRX-6000 e fonte de radiação Cu- K α – $\lambda \sim 1,54 \text{ \AA}$ (radiação característica) em uma varredura angular de 10° até 90° (2θ), localizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos – LaMaC, FCT- Unesp.

2.2.3 -Termogravimetria

A Termogravimetria (TG) baseia-se no estudo da variação de massa de uma amostra, resultante de uma transformação física ou química em função da temperatura [51]. A termogravimetria das ADF e ADF-M foram realizadas utilizando um equipamento da marca TA Instruments, modelo SDTQ 600. As curvas termogravimétricas foram medidas através da pesagem de cerca de 10mg das amostras transferidas em um cadinho de alumina e tratadas até 1000°C com razão de aquecimento de 10°C/minuto sob fluxo de 100ml/minuto de ar sintético, localizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos – LaMaC, FCT- Unesp.

2.2.4 - Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada a fim de avaliar a morfologia da ADF-M. As micrografias foram obtidas a partir de um microscópio eletrônico de varredura Carls Zeiss. O equipamento está localizado no laboratório de Multiusuário de Análise de Matérias, Instituto de Física da Universidade Federal do Mato Grosso - UFMS. A amostra foi recoberta com ouro, depositados pela técnica de Sputtering, num equipamento Quorum-modelo Q150TE.

A análise por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) foi implementada como objetivo de identificar a composição elementar da ADF-M, como complemento à fluorescência de raios X. As micrografias foram obtidas no laboratório multiusuário de Microscopia Eletrônica de Varredura (LaMMEV) pertencente à FCT UNESP.

2.2.5. Lixiviação e Solubilização

A técnica de lixiviação é utilizada para determinar ou avaliar a estabilidade química dos resíduos, quando em contato com soluções aquosas, permitindo assim verificar o grau de imobilização de contaminantes. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 10.005/2004 [36]. De acordo com essa Norma os resíduos são classificados em:

a) Resíduos Classe I – Perigosos: Aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente ou uma das seguintes características: inflamabilidade,

corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade ou ainda constem nos anexos A ou B da NBR 10004/2004 [26].

b) Resíduos Classe II – Não perigosos: Os códigos para alguns resíduos dessa classe encontram-se no anexo H da NBR 10004/2004.

- Resíduos Classe II A – Não inertes: Aqueles que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B –Inertes.

- Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água deionizada, a temperatura ambiente, conforme NBR 10006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10004/2004.

Para aplicação da NBR 10004/2004, realizou-se inicialmente a norma complementar NBR 10005/2004, a qual se refere ao procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos: fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos visando diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10004/2004 como classe I - perigosos e classe II - não perigosos.

Para determinar a solução extratora do ensaio de lixiviação foi transferido para um béquer 5,0 g da ADF-M e adicionado 96,5 mL de água deionizada e agitado vigorosamente por 5 minutos.

Na sequência foi medido o pH, que foi maior que 5, desta forma, foi adicionado 3 mL de ácido clorídrico 1N, homogeneizado e aquecido a 50°C durante 10 minutos, após foi esfriado e medido o pH novamente, como o valor obtido foi maior que 5, utilizou-se no procedimento de lixiviação a solução extratora nº 2 (1 mL de ácido acético glacial e água destilada em balão volumétrico de 1 L).

As amostras trituradas, foram pesadas e adicionadas em “Jar test” juntamente com a solução extratora nº 2, é mantido em agitação por 24 horas e após é realizado a filtração. O material filtrado é o extrato lixiviado que é preservado para as análises dos metais pré-estabelecidos.

A ADF-M apresentou grau de combustibilidade, não sendo enquadrado como resíduo inerte. Desta forma, caso o mesmo seja classificado como resíduo classe II está se enquadrará como classe II A, não sendo necessário a análise de

solubilização da tal classificação. Entretanto, o ensaio de solubilização foi realizado para comprovação de que metais contaminantes não entrarão em contato com ambiente externo, quando o material for considerado um resíduo.

A solubilização foi realizada de acordo com a NBR 10006/2004 para diferenciar os resíduos classificados na ABNT NBR 10004 como classe II A - não inertes – e classe II B – inertes [52].

O procedimento para obtenção do extrato solubilizado foi realizado da seguinte forma: A amostra foi seca a temperatura de até 50°C. Foi adicionada uma amostra representativa de 200 g (base seca) em frasco de 1500 mL, foi adicionado 1000 mL de água deionizada e isenta de orgânicos, o frasco foi coberto com filme de PVC e deixado em repouso por sete dias, em temperatura até 25°C. A solução foi filtrada com membrana com 0,45 µm de porosidade e desta forma, obtido o extrato solubilizado, que na sequência foram submetidas à determinação dos teores de contaminantes de acordo com a norma NBR 10004/2004.

As amostras em triplicata do lixiviado e solubilizado da ADF-M foram analisadas por meio de Espectrômetro de Absorção Atômica (EAA) Varian – SpectrAA, modalidade chama. O equipamento de espectrometria de absorção atômica foi então ajustado nas condições exigidas para a determinação dos metais de interesse, sendo zero acertado com prova em branco (água destilada) e a curva de calibração determinada conforme a sensibilidade do método, descrita no manual do equipamento e localizado no Laboratório de Caracterização de Resíduos Sólidos – LCGRS, FCT- Unesp.

2.2.6 - Análise Granulométrica

A análise granulométrica é o ensaio mais utilizado na caracterização de um material granular. É dela que obtemos duas constantes muito empregadas na definição do tamanho e distribuição dos grãos do agregado. Uma dessas constantes é o módulo de finura (MF), que corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas das peneiras da série normal (4 até 100), dividido por 100, calculada pela Equação 1.

$$M.F = \sum \frac{\% \text{ Retida Acumulada}}{100} \quad (1)$$

Para a Areia, as ADF e ADF-M, foram utilizadas uma amostra de 1kg. Como preconizado na norma, foi utilizado o conjunto de peneiras da série fina, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5 - Conjunto de peneiras

Conjunto de Peneiras – Série Fina	
Peneiras	Abertura (mm)
4	4,76
8	2,38
16	1,19
30	0,59
50	0,29
100	0,149
200	0,0074
Fundo	0

Fonte: NBR 7217 (1987)

A NBR 7217 (ABNT, 1987) [53] foi utilizada nesse trabalho para a realização da análise granulométrica da ADF-M e análise visual do seu enquadramento dentro de uma faixa granulométrica recomendada (zona ótima e utilizável) de acordo com as especificações da NBR 7211 (ABNT, 2005) [54].

2.2.7 - Massa Específica

A massa específica de agregados miúdos foi realizada conforme o procedimento normalizado pela NM 52: 2002 para a areia natural, as ADF e ADF-M [55].

Inicialmente, pesou-se ($500,0 \pm 0,1$) g de amostra (ms), colocando-a no frasco e registrando a massa do conjunto (m1). Encheu-se o frasco com água até próxima da marca de 500 ml. Movendo-o de forma a eliminar as bolhas de ar e depois colocando-o em um banho mantido a temperatura constante de (21 ± 2) °C.

Após 1 h, aproximadamente, completou com água até a marca de 500 cm³ e determinou-se a massa total com precisão de 0,1 g (m2). Retirou-se o agregado miúdo do frasco e secou a (105 ± 5) °C até massa constante ($\pm 0,1$ g). Após resfriar em dessecador e pesou-se com precisão de 0,1 g (m).

Figura 14 - Ensaio para determinar a massa específica das ADF e ADF-M.



Este cálculo é realizado a partir da Equação 2.

$$d_3 = \frac{m}{\frac{(V - V_a) - m_s - m}{\rho_a}} = (2)$$

Em que:

d_3 = é a massa específica do agregado (g/cm^3).

m = é a massa da amostra seca em estufa (g);

V = é o volume do frasco (cm^3)

V_a = é o volume de água adicionado ao frasco (cm^3)

m_s = é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g).

ρ_a = é a massa específica da água (g/cm^3).

2.3 - Dosagem do Concreto

De acordo com a ABNT NBR 12655/2015 [56] a composição de cada concreto a ser utilizada deve ser definida, “em dosagem racional e experimental” com antecedência, tendo em vista as prescrições e exigências do projeto e as condições de execução.

Dentro das informações necessárias, tais como, relação a/c, volume de água por m^3 , teor de argamassa e as massas específicas. O traço foi definido da seguinte forma:

Para a produção de um 1 m^3 , foi cedida a carta traço (ANEXO) por uma usina de concreto da região (ÚNICA CONCRETO) para base, em que foi considerada uma

relação a/c 0,366, em que o volume de água é de 195 litros, definido pelo teor de argamassa de 60% onde é descrito como sendo a soma de cimento + água + areia e 40% o restante dos agregados, sendo eles graúdos. Invariavelmente o cálculo do teor de argamassa em volume difere do cálculo em massa. Em volume, fica em torno de 7 a 8% maior que em massa.

Foram preparados dois traços: um traço referência (a/c: 0,36) e um traço ADF-M (a/c 0,40), tendo como diferença do traço referência para o traço ADF-M a substituição total do agregado miúdo (areia natural) pela mistura das areias descartadas de fundição (ADF-M), conforme apresentado nos quadros 1, 2 e 3.

O cimento utilizado neste trabalho foi de alta resistência inicial (ARI). No que diz respeito a relação fator água/cimento, houve um ajuste de tal valor da composição do traço referência para a do traço ADF-M em decorrência da maior absorção apresentada pela ADF. Isso ocorre devido a presença de argila (bentonita) em sua composição, fazendo necessário um aumento na quantidade da água de amassamento do traço [57 - 58]

Nos quadros a seguir serão apresentados os traços em massa (kg).

Quadro 1 – Traço Referência para C.P.C

TRAÇO REFERÊNCIA - Corpos de Prova Cilíndricos (Kg)				
1 m³ (Kg)				
Cimento	Areia	Pedrisco	Água	Aditivo 0,2%
412,7	508,3	809,9	150,9	0,825
Corpos de Prova Cilíndricos 20cm x 10 cm Volume: 0,00157 m ³ (1CPC) Volume: 0,0314 m³ (20 CPC)				
20 C.P.C (Kg) a/c = 0,36				
Cimento	Areia	Pedrisco	Água	Aditivo 0,2%
12,96	15,96	25,43	4,74	0,026
1: 1,23: 1,96: 0,36				

Quadro 2 - Traço ADF para C.P.C

TRAÇO ADF-M – Corpos de Prova Cilíndricos (Kg)				
1 m ³ (Kg)				
Cimento	ADF-M	Pedrisco	Água	Aditivo 0,2%
412,7	453,5	809,9	166,9	0,825
Corpos de Prova Cilíndricos 20cm x 10 cm Volume: 0,00157 m ³ (1CPC) Volume: 0,0314 m³ (20 CPC)				
20 C.P.C (Kg) a/c = 0,40				
Cimento	ADF-M	Pedrisco	Água	Aditivo 0,2%
12,96	14,24	25,43	4,74	0,026
1: 1,10: 1,96: 0,40				

Quadro 3 - Traço ADF para B.C. Sextavado

TRAÇO ADF-M Blocos de Concreto Sextavado				
1 m ³ (Kg)				
Cimento	ADF-M	Pedrisco	Água	Aditivo 0,2%
412,7	453,5	809,9	166,9	0,825
Blocos de Concreto Sextavado 6cm x20cmx20cm Volume: 0,00216 m ³ (1BCS) Volume: 0,0432 m ³ (20 BCS)				
20 C.P.C (Kg) a/c = 0,40				
Cimento	ADF-M	Pedrisco	Água	Aditivo 0,2%
17,83	19,59	34,99	7,21	0,035
1: 1,10: 1,96: 0,40				

Foram produzidos 20 corpos de prova cilíndricos (dimensões 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura) com o traço referência e o traço ADF -M e 20 blocos de concreto sextavado (dimensões 20x 20 cm de seção transversal por 6 cm de altura) com apenas o traço ADF-M.

Os corpos de prova cilíndricos e blocos de concreto sextavados foram confeccionados conforme a NBR 9781 [43], com o uso de uma betoneira de 120 litros. No processo de produção, deu-se importância à ordem:

- 1 - 100% do agregado graúdo - pedrisco
- 2 - 50% da água
- 3 - 100% do cimento ARI
- 4 - 100% do agregado miúdo – Areia natural / ADF-M
- 5 - 50% da água restante.
- 6 - Aditivo

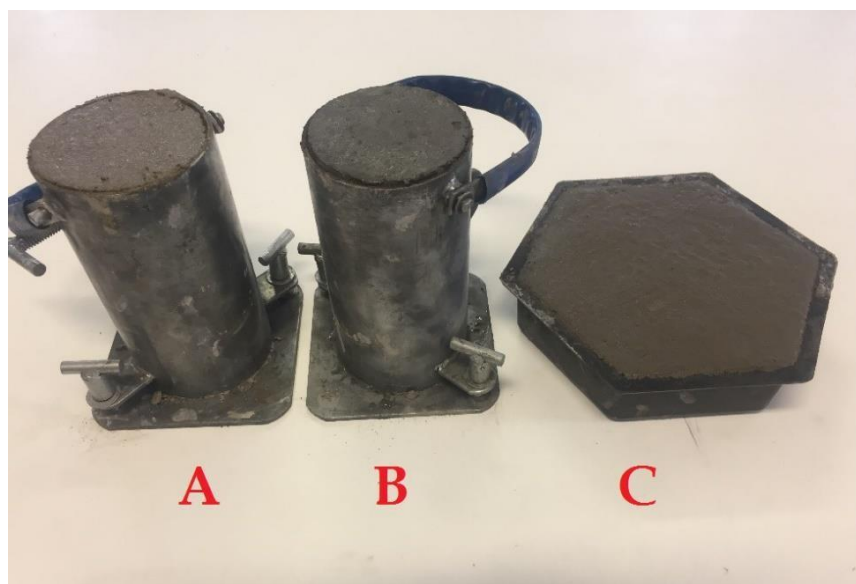
Figura 15 - Componentes do traço (A) referência e (B) ADF -M



O tempo de execução do concreto estendeu-se por 5 minutos em uma betoneira de 120 litros e logo após, foi realizado o abatimento do tronco cone conforme a NM 67 (1988) [59]

Logo após o abatimento do tronco de cone, foram moldados 20 corpos de prova cilíndricos devidamente limpos e preparados com óleo lubrificante de forma a facilitar o desenforme imediato, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2005) [60]. O material foi submetido à vibração através de uma mesa vibratória por cerca de 30 segundos e posteriormente desmoldado em uma superfície limpa e plana. Os corpos de prova cilíndricos foram cobertos com o uso de lonas, para evitar a perda de água e consequente perda de resistência mecânica. Após a produção dos corpos de prova cilíndricos, foram realizados, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013) [43] a moldagem de 20 blocos de concreto sextavado com dimensões de 20x20x6cm, fazendo uso de uma fôrma plástica (Figura 16).

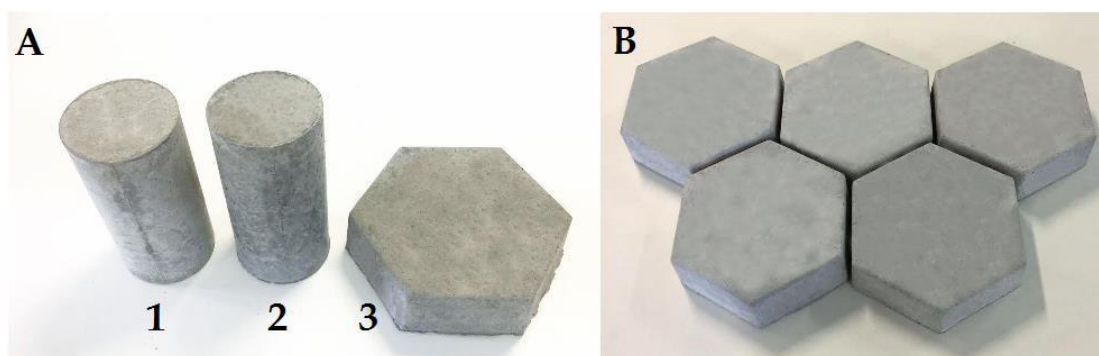
Figura 16 - (A) C.P.C traço referência (B) C.P.C traço ADF-M e (C) B.C. Sextavado traço ADF-M



2.3.1 - O Processo de Cura

Após as 24 horas, os corpos de prova cilíndricos e blocos de concreto sextavado foram devidamente desmoldados e identificados. Imediatamente após sua identificação, foram submersos em água com cal, onde ficaram até os 28 dias.

Figura 17 - (A) C.P.C (1) traço referência (2) traço ADF-M (3) B.C. Sextavado traço ADF-M e (B) conjunto de B.C. Sextavado após 28 dias submerso em água com cal.



2.3.2 - Determinação das propriedades do concreto

No estado endurecido, os corpos de prova e blocos de concreto foram avaliados quanto à propriedade mecânica (resistência a compressão) e propriedades físicas (absorção de Água), conforme pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 - Programa experimental dos ensaios do traço de referência e ADF-M

	ENSAIOS	IDADE	Quantidade
Corpos de Prova Cilíndricos 10X20cm (traço referência e ADF-M)	Resistência à compressão Axial NBR 5739	7	5
		28	5
	Absorção de Água por Imersão NBR 9778	28	5
Blocos de concreto Sextavado 20x20x6cm (traço ADF-M)	Resistência à compressão Axial NBR 5739	7	5
		28	5
	Absorção de Água por Imersão NBR 9781	28	5

2.3.3 - Resistência à Compressão Axial

Os corpos de prova cilíndricos e blocos de concreto sextavado foram rompidos em prensa hidráulica EMIC – 100, no Laboratório de Construção Civil da Unoeste – Universidade do Oeste Paulista. A resistência à compressão axial foi avaliada nas idades de 7 e 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2007) [61]

Antes da realização dos ensaios de resistência à compressão axial dos corpos cilíndricos, foram necessários a regularização através de capeamento de enxofre, Figura 18.

Figura 18 - Corpos de prova capeados com enxofre e submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

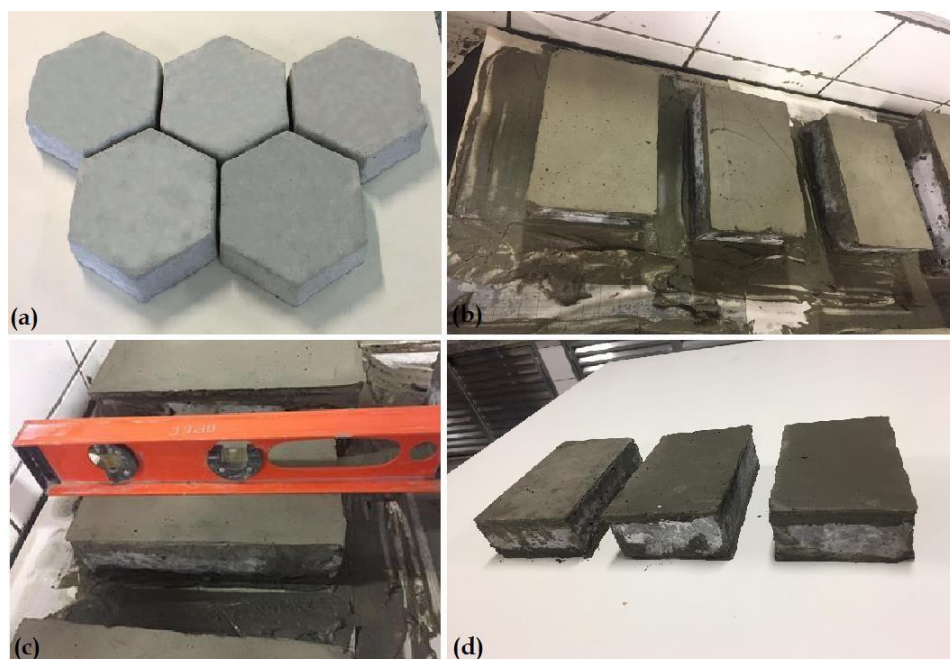


Os resultados obtidos com os rompimentos dos corpos de provas e blocos de concreto sextavado na prensa hidráulica EMIC – 100, são dados em tonelada força (tf), por isso fez-se necessário a realização dos cálculos de tensões (em MPa), no qual a força é transformada em Newtons (N) e dividida pela área em que está sendo aplicada (secção do corpo de prova cilíndrico e blocos de concreto sextavado, em milímetros quadrados – mm^2)

De acordo com a NBR 9781: 2013 [43], “caso a largura do bloco de concreto sextavado seja superior a 140mm, o bloco de concreto deve ser cortado com serra de disco, de modo que a nova largura não exceda esse limite” (ABNT, 2013, p. 11). Com isso, todas as peças a serem submetidas a ensaio de resistência à compressão axial foram destinadas à marmoraria da universidade a fim de atender ao especificado tornando, com isso, suas arestas regulares e seus ângulos retos e a largura igual a 140 mm. A norma ainda especifica que tais peças devem ser retificadas (capeadas) dos dois lados e armazenadas em câmara úmida por pelo menos 24 horas antes do ensaio. A retificação foi feita com aplicação de cimento e

água, dos dois lados das peças, utilizando um trena para fazer o nivelamento da superfície. A Figura 19 mostra os blocos de concreto, cortados, nivelados e capeados para o ensaio de resistência à compressão (Figura 21).

Figura 19 - (a) blocos de concreto sextavado (b) cortados e capeados com nata de cimento (c) nivelamento e (d) após capeamento.



Para os ensaios de resistência à compressão axial dos blocos de concreto sextavado, foi preciso a instalação de placas auxiliares de 90 mm de diâmetro (valor este que está contido nos parâmetros da norma) de modo que o eixo da placa coincidisse com o eixo da peça, apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Placas auxiliadoras de 90 mm de diâmetro



Para efetuar o cálculo de resistência (valor lido em tf, convertido para Newton e dividido pela área de aplicação da força em mm²), foi necessário que utilizassem as medidas das dimensões das peças auxiliares.

Para a obtenção da resistência final, a norma NBR 9781 (ABNT, 2013) [43] estabelece que se multiplique o resultado por um fator p , que se dá em função da altura da peça, conforme a Tabela 8:

Tabela 7 - Valores característicos do fator multiplicativo p (NBR 9781)

Espessura nominal da peça (mm)	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Porém, como as peças confeccionadas possuíam espessura nominal de 60 mm, seu fator multiplicativo passa a ser 0,95. Diante disso, torna-se necessário realizar alterações nos valores de resistência obtidos dos blocos de concreto sextavado.

Figura 21 - Blocos de concreto sextavado submetidos a ensaio de resistência à compressão



2.3.4 -Absorção de Água por Imersão

A absorção de água por imersão está relacionada à porosidade da peça e à consequente capacidade do bloco de reter líquido no seu interior. Os ensaios de absorção de água por imersão, massa específica e índice de vazios para os corpos de prova cilíndricos, seguiram as prescrições normativas da NBR 9778 (ABNT, 2005) [62], após os 28 dias de idade.

Foram utilizados para o ensaio, 5 corpos de prova cilíndricos e, antes do ensaio, foi retirada a cal que estava aderido à superfície. Os corpos de prova ficaram em uma câmara úmida por 24 horas.

Após 24 horas, os CPs foram mantidos por um período de 72 horas na estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ para a secagem. Depois de secos, os CPs foram pesados na balança com precisão de 0,01g e imersos em água (Figura 22) em temperatura ambiente logo após a pesagem. Após 72 horas de imersão e mantidos nesta condição por 5 horas, os CPs foram pesados na balança hidrostática com precisão de 0,1g.

A absorção de água por imersão de cada corpo de prova (A_i), em porcentagem, foi determinada pela Equação 3.

$$A_i = \frac{ms_{sat} - ms}{ms} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

ms_{sat} : massa da amostra saturada após imersão (g)

ms : massa da amostra seca (g).

O índice de vazios (I_v) de cada amostra, em porcentagem, foi calculado pela Equação 4.

$$I_v = \frac{ms_{sat} - ms}{ms_{sat} - m_i} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

m_i : massa da amostra saturada imersa (em balança hidrostática)

A massa específica de cada amostra seca (ρ_s) foi calculada pela Equação 5.

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (5)$$

A massa específica da amostra saturada (ρ_{sat}) foi calculada pela Equação 6.

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (6)$$

Figura 22 - Corpos de prova cilíndricos imerso em água



Os ensaios de absorção de água para os blocos de concreto sextavado seguiram as especificações da NBR 9781: ABNT 2013 [43]. Tais especificações indicam que devem ser realizados testes em três peças, de modo a se obter uma média entre essas, cujo resultado não pode exceder ao valor de 6% e nenhum valor individual pode ser maior do que 7%.

Primeiramente os blocos de concreto foram imersos em água por 24 horas para que fossem saturados. Para verificar se a saturação foi completa realizou-se uma primeira pesagem após as 24 horas de imersão e uma segunda pesagem 2 horas depois da primeira (depois da primeira pesagem as peças, devidamente identificadas, voltaram a ser submersas). Caso se verificasse uma diferença de massa maior do que 0,5 % entre as duas pesagens, seria necessário submergi-las novamente e repetir o processo em intervalos de 2 horas até obter-se um resultado

estável. Antes das pesagens as peças foram suspensas e escorridas por 1 minuto com o auxílio de uma tela metálica e foi retirado o excesso de água presente em sua superfície com o uso de pano umedecido.

Caso não fosse constatada diferença de massa em maior de 0,5% nas pesagens saturadas, estes valores seriam os considerados como massa saturada, utilizado para cálculos.

Diante do valor da massa saturada, as peças foram encaminhadas à estufa com temperatura de 110 °C, por onde permaneceram por mais 24 horas. Após tal período foram retiradas e pesadas em um ciclo igual ao realizado com a massa saturada (porém, sem as etapas de retirada da água superficial) até que se possuísse uma diferença de massa menor que 0,5% e com isso se caracterizasse o peso seco. O valor da absorção para cada bloco de concreto, expresso em porcentagem, foi obtida pela Equação 7. O resultado final consistiu na média aritmética dos blocos utilizados para a realização do ensaio.

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (7)$$

Em que:

a = absorção total (%);

m_1 = massa do bloco seco em estufa (110 ± 5) °C (g);

m_2 = massa do bloco saturado (g).

Figura 23 - Blocos de concreto imersos em água



2.3.5 - Microscopia Óptica

No laboratório Detran – Detecção de Traços Nucleares - da FCT-Unesp, foram realizadas análises ópticas dos blocos de concreto sextavado aos 28 dias, com aumento de 80x (Figura24), para observar-se o comportamento da ADF-M na mistura do concreto. Foi utilizado um microscópio da marca Zeiss Stereo Discovery. V12, acoplado a uma câmera digitalizadora (ExwareHAD, Sony, modelo SSC-DC54A).

Figura 24 - Blocos de Concreto Sextavado cortado para análise de microscopia óptica



CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - Fluorescência de Raios X

A Tabela 8 apresenta a composição química das ADF e ADF-M por Fluorescência de raios X. O maior teor de óxido de silício (SiO_2), é característico do processo de fundição que utiliza a areia siliciosa como material refratário para produção dos moldes. O óxido de silício também pode estar presente em argilas – bentonita. O teor de óxido de alumínio (Al_2O_3) provém de argilominerais e o óxido de ferro (Fe_2O_3) está associado à sucata utilizada no processo de fundição, para a fusão do metal líquido. [63]. Os elementos em menor concentração são provenientes das sucatas e refratários dos fornos. Os sulfetos (SO_3) reportados na análise estão associadas às resinas fenólicas utilizadas no processo de fundição, uma vez que duas ADF utilizadas nesse trabalho são constituídas de areia siliciosa e resinas fenólicas.

Tabela 8 - Composição química das ADF e ADF-M determinando por FRX

Constituintes (%)	ADF 1	ADF 2	ADF 3	ADF 4	ADF 5	ADF M
SiO_2	71.418	98.311	70.571	99.094	69.591	71.418
Al_2O_3	14.734	-	15.837	-	12.970	14.734
Fe_2O_3	4.355	0.533	4.415	0.506	12.011	4.355
SO_3	1.367	0.562	1.017	-	2.059	1.367
CaO	6.755	0.366	6.872	0.153	1.456	6.755
TiO_2	0.597	-	0.575	0.094	0.855	0.597
K_2O	0.513	0.108	0.468	0.091	0.539	0.513
ZrO_2	0.027	0.011	0.024	0.006	0.270	0.027
MnO	0.045	-	0.036	0.015	0.092	0.045
Cr_2O_3	0.026	-	0.031		0.053	0.026
V_2O_5	-	-	-		0.037	-
CuO	0.065	0.017	0.060	0.091	0.028	0.065
NiO	-	-	-	-	0.013	-
SrO	0.008	-	0.007		0.008	0.008
Sc_2O_3	-	-	-	0.017	-	-
ZnO	0.090	0.008	0.086	0.006	0.008	0.090

3.2 – Difração de raios X

A análise por Difração de raios X tem como objetivo identificar a fases cristalinas do material em estudo. Os difratogramas de todas as amostras apresentaram a mesma fase cristalina [64] (alpha quartz JCPDS 5-490), com pequenas variações nas intensidades relativas dos planos cristalográficos conforme a Figura 25. Estas variações das intensidades relativas estão intimamente relacionadas as matérias-primas utilizadas no processo de fundição.

Os demais elementos químicos: Ca, Ti, K, Mn Cr, V, Cu, Ni, Sr Sc, Zr e o sulfetos (SO_3) como reportados na análise de fluorescência de raios X, não foram identificados por estarem em baixa concentração.

Figura 25 - Difração de raios X realizada para as ADF e ADF-M

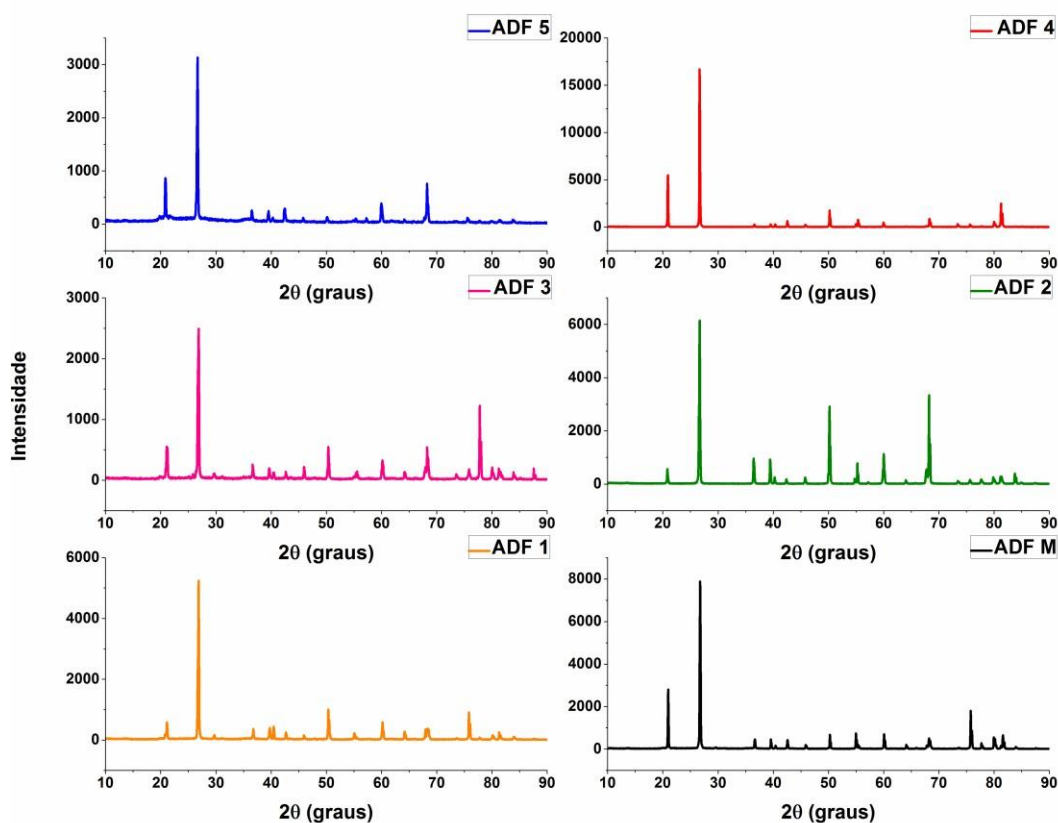


Tabela 9 - Padrões indexados para identificação das fases das ADF e ADF-M

Amostra	Fase Identificada	Fase Identificada	JCPDS
ADF 1	SiO ₂	alpha-Quartz, low	5-490
ADF 2	SiO ₂	alpha-Quartz, low	5-490
ADF 3	SiO ₂	alpha-Quartz, low	5-490
ADF 4	SiO ₂	alpha-Quartz, low	5-490
ADF 5	SiO ₂	alpha-Quartz, low	5-490
ADF-M	SiO ₂	alpha-Quartz, low	5-490

3.3 – Análise Termogravimétrica (TG)

A Figura 26 apresenta os termogramas das ADF e ADF-M e a Figura 27, a derivada das curvas de TG.

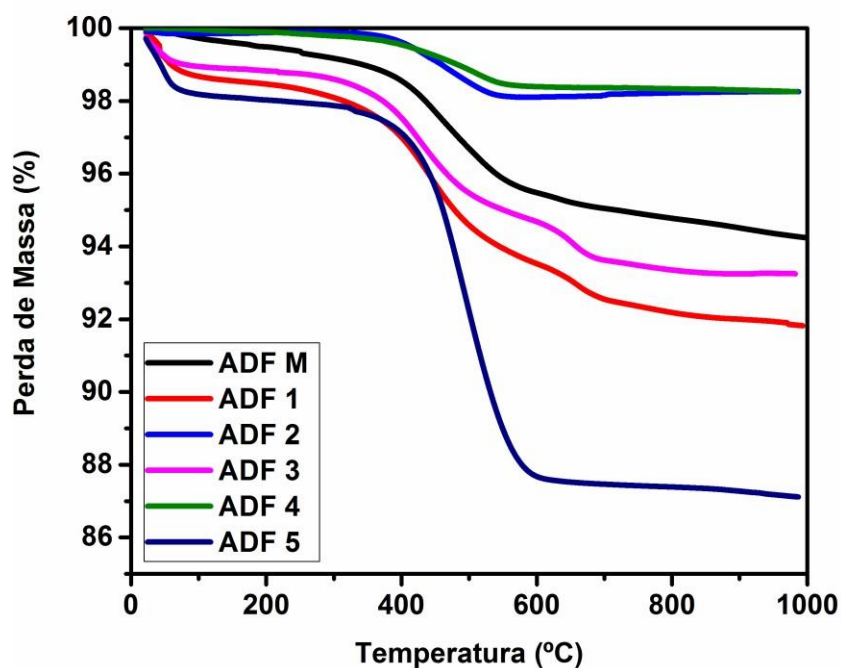
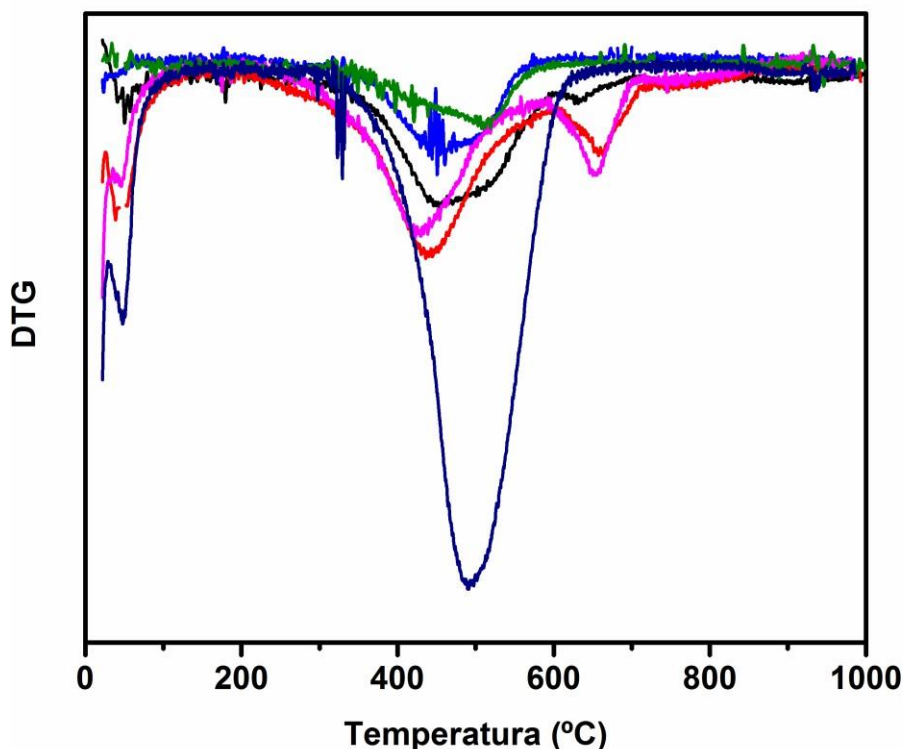
Figura 26 - Termogravimetria (TG) das ADF e ADF-M

Figura 27 - Derivada (DTG) das ADF e ADF-M



O primeiro evento em ambas as amostras acontece da temperatura ambiente até aproximadamente 100 °C e está relacionado a perda de água adsorvida (umidade). O segundo evento térmico que se inicia em, aproximadamente, 400°C e se estende até 800°C, é referente à perda de massa da bentonita, pó de carvão e resinas fenólicas, matérias-primas utilizadas no processo de moldagem e macharia [65]. Observa-se no termograma da ADF 2 e 4, apenas uma pequena variação de massa a 300°C devido a utilização de resinas fenólicas no processo de moldagem. Neste tipo de processo, devido a produção de peças metálicas com variações dimensionais e custos de produção, é viável a fundição apenas utilizar areia natural e resinas fenólicas sem adição de outros aditivos.

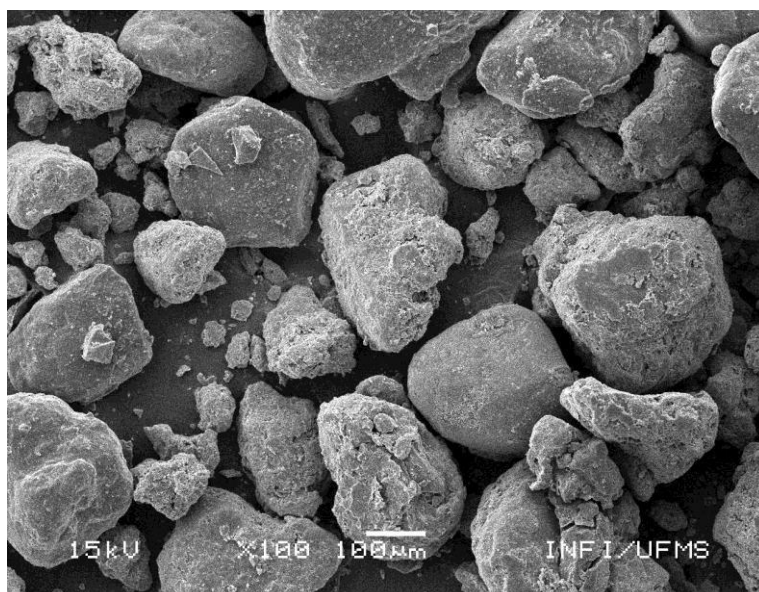
A Tabela 10, apresenta as informações referente às perdas de massa, assim como, as temperaturas iniciais e finais dos eventos térmicos das ADF e ADF-M.

Tabela 10 - Porcentagens de perda de massa envolvidas nas ADF e ADF-M

Amostras	1º Evento Térmico			2º Evento Térmico			Resíduo a 1000°C (%)
	T°C inicial	T°C final	ΔM / %	T°C inicial	T°C final	M / %	
ADF-M	27	103	0,90	103	652	8,02	93,01
ADF 1	30	110	1,5	110	787	11,16	92,14
ADF 2	29	109	0,09	109	689	4,83	98,57
ADF 3	22	101	1,19	101	747	11,34	93,39
ADF 4	24	106	0,65	106	665	6,76	98,55
ADF 5	29	104	0,64	104	675	10,51	87,26

3.4 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 28 apresenta a micrografia obtida por MEV, da ADF-M com ampliação de 100x

Figura 28 - Micrografias da ADF-M obtidas por MEV com ampliação em 100x.

Observa-se que a ADF-M consiste basicamente em uma distribuição de grãos heterogêneos com superfície irregular e tamanhos variados.

As figuras 29 e 30 apresentam a micrografia da ADF-M, com ampliação de 250x e 300x, respectivamente.

Figura 29 - Micrografias da ADF-M obtidas por MEV, com ampliação em 250x.

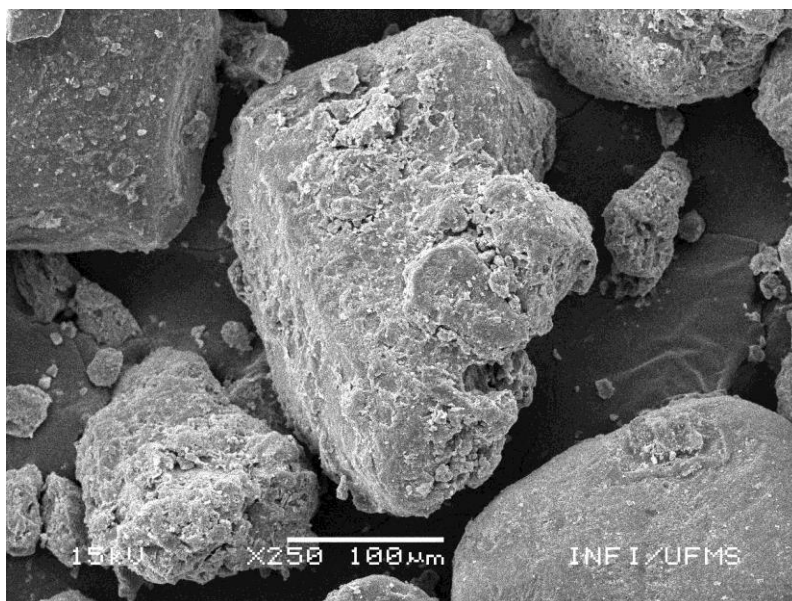
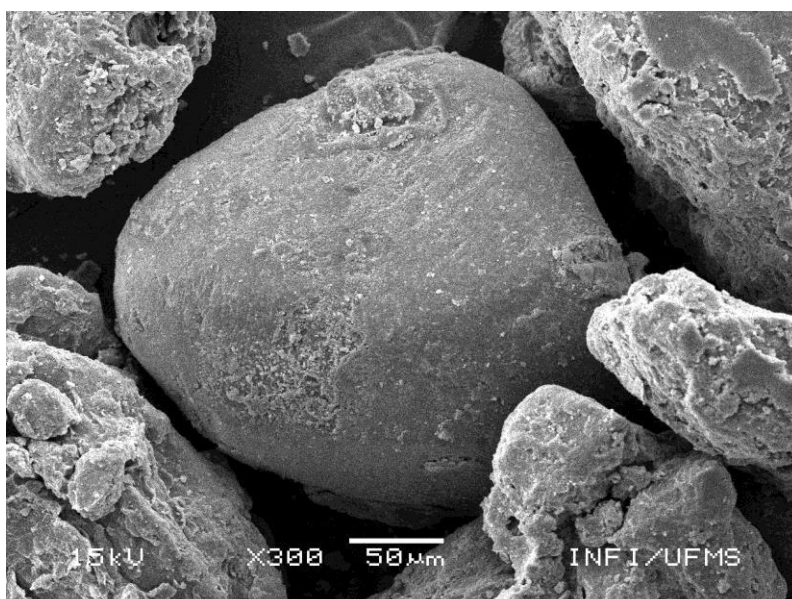


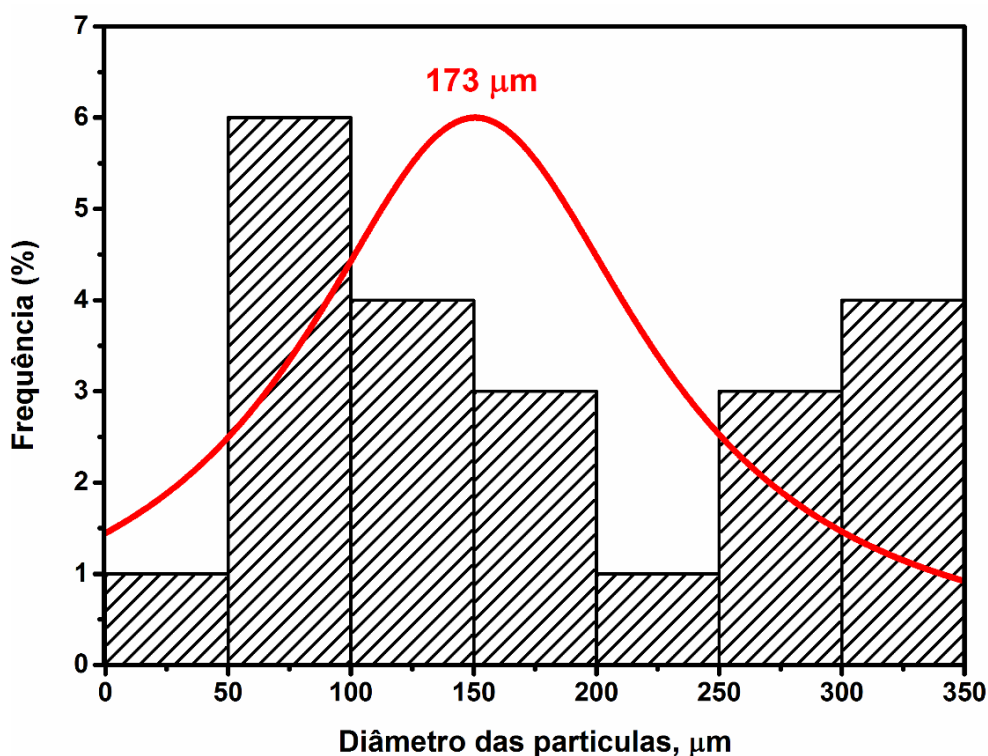
Figura 30 - Micrografias da mistura da ADF-M obtidas por MEV com ampliação em 300x.



Nas Figuras 29 e 30, é possível observar com melhor resolução a presença de partículas menores em volta do grão da ADF-M.

A Figura 31 mostra a distribuição das partículas (grãos da ADF-M). Foi aplicada a distribuição de Cauchy-Lorentz, a fim de observar o pico da curva, o qual indica a frequência de distribuição da ADF-M. Nota-se que a ADF-M apresenta um diâmetro médio de partículas com maior frequência em 173 μm .

Figura 31 - Histograma da ADF-M

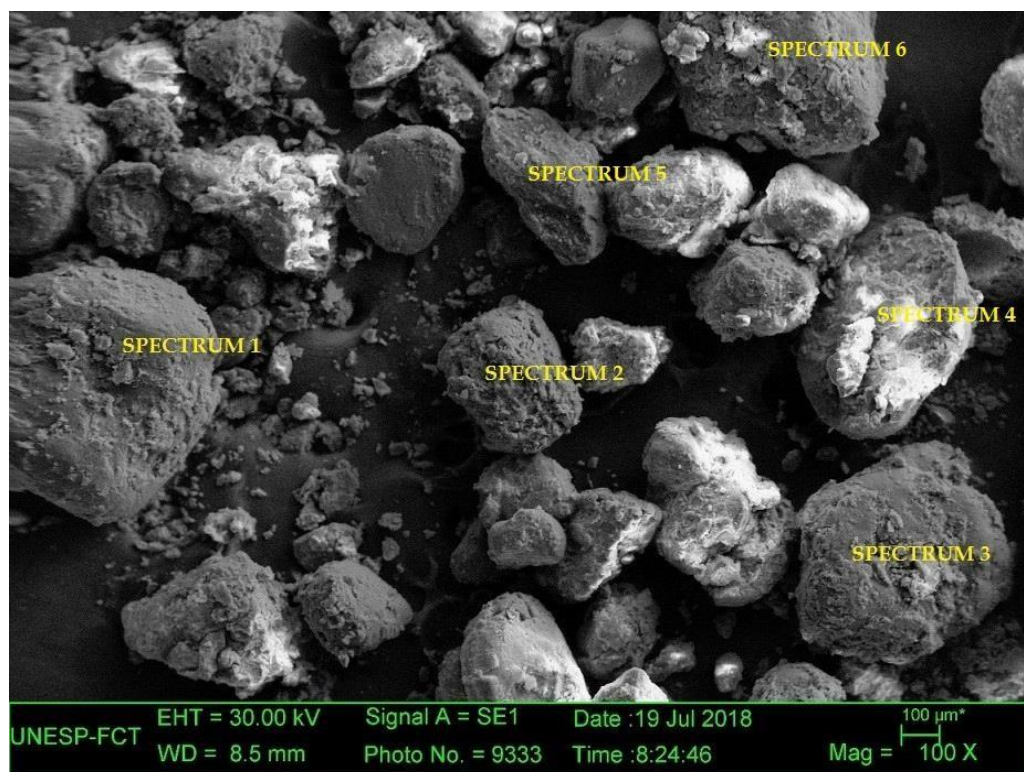


Essas partículas menores estão associadas com a bentonita, pó de carvão, resinas fenólicas e impurezas do processo de fundição [66].

3.5 - Espectroscopia de energia dispersiva

Na tentativa de identificar essas partículas menores, foi realizada a análise de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva. Os resultados são apresentados na figura 32 e os espectros 1 ao 6, em anexo.

Figura 32 - EDS da ADF-M -Intensidade versus energia



Analisando o espectro de energia dispersiva da ADF-M, da região identificada como SPECTRUM 1 até 6, Tabela 11, observa-se a presença dos elementos químicos: O, C, Na, Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Rb e Au. Através dessas análises pontuais realizadas sobre a superfície dos grãos da ADF-M, pode-se comprovar que, de fato, as partículas menores formadas sobre os grãos da ADF-M são compostas pela bentonita, pó de carvão, resinas fenólicas (C) e também metais provenientes da fundição nas superfícies da areia [60].

O elemento ouro (Au) presente é proveniente do recobrimento metálico da amostra para realização da análise de espectroscopia de energia dispersiva.

Tabela 11 - Spectrum da ADF-M em diferentes pontos aplicados.

Spectrum	(%)	Elementos												
		C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Zr	Rb
1	Massa	11.29	50.52	1.00	1.33	7.21	21.19	0.24	0.36	1.78	0.59	4.38	0.16	0.05
	Atômica	17.50	58.50	0.81	1.02	4.97	14.05	0.12	0.17	0.83	0.23	1.46	0.05	0.01
2	Massa	7.56	44.4	1.33	1.65	8.11	25.24	0.25	0.55	0.92	0.87	9.08		
	Atômica	12.70	56.04	1.17	1.37	6.07	18.13	0.14	0.28	0.46	0.37	3.28		
3	Massa	15.56	59.37	1.35	1.22	4.16	14.75	0.11	0.20	0.28	0.21	2.88	0.09	
	Atômica	22.09	63.27	1.00	0.86	2.63	8.96	0.05	0.09	0.12	0.08	0.88	0.02	
4	Massa	12.73	61.38	1.53	1.34	7.13	12.26	0.14	0.09	0.22	0.57	0.41	2.21	
	Atômica	18.29	66.22	1.15	0.95	4.56	7.53	0.07	0.04	0.10	0.25	0.15	0.68	
5	Massa	71.38	25.30	0.14	0.14	0.71	1.29	0.36	0.12	0.03	0.32	0.22		
	Atômica	77.86	20.71	0.08	0.08	0.34	0.60	0.15	0.04	0.01	0.09	0.05		
6	Massa	5.85	58.59	1.93	1.58	6.06	19.32	0.11	0.24	1.08	0.32	0.01	4.94	0.03
	Atômica	9.12	58.55	1.57	1.22	4.21	12.88	0.06	0.12	0.50	0.12	0.00	1.66	0.01

3.6 - Análise Textural

A ADF-M submetidas ao ensaio de textura, apresentam resultados percentuais de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 - Análise textural da ADF-M

Granulometria	Fração	ADF -M (g)
< 2 μm	Argila	70
2 μm – 20 μm	Silte	39
> 20 μm	Areia	891

A ADF-M é constituído principalmente de areia, caracterizando como um material não plástico, conforme a análise textural representado na tabela 12. A fração argila e silte, em menores quantidades, comprovam a análise de microscópio eletrônico de varredura (Figura 29 e 30).

3.7 - Lixiviação e Solubilização

Os ensaios de extrato lixiviado foram conduzidos para as amostras em triplicatas da mistura das areias descartadas de fundição (ADF-M) e estão apresentados na Tabela 13.

Analisando os resultados em triplicata dos extratos lixiviados da ADF-M, verifica-se que os elementos químicos: Arsênio, Bário, Cadmio, Chumbo, Mercúrio, Prata e Selênio não foram identificados (nd) na análise de lixiviação de acordo com a NBR 10005/2004.

Os elementos químicos alumínio, cálcio, cobre, ferro, magnésio, manganês, níquel e zinco foram acrescentados à análise para identificar as concentrações dessas espécies metálicas após a filtragem e análise do lixiviado. Os valores máximos permitidos das espécies químicas identificadas não se encontram na NBR 10005/2004 [36] e Resolução CONAMA nº430/2011 [67].

Tabela 13 - Concentração de metais no lixiviado da ADF-M

Parâmetro	Concentração (mg, L ⁻¹)			Média	VMP (mg, L ⁻¹)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3		
Alumínio	5,048	6,989	7,101	6,379	-
Arsênio	nd	nd	nd	-	1,00
Bário	nd	nd	nd	-	70,00
Cádmio	nd	nd	nd	-	0,50
Cálcio	10,468	10,831	10,851	10,72	-
Chumbo	nd	nd	nd	-	1,00
Cobre	0,274	0,302	0,383	0,320	-
Cromo	nd	nd	nd	-	5,00
Ferro	2,892	2,058	2,911	2,620	-
Magnésio	6,337	6,436	6,429	6,401	-
Manganês	0,464	0,662	0,619	0,582	-
Mercurio	nd	nd	nd	-	0,10
Níquel	nd	nd	nd	-	-
Prata	nd	nd	nd	-	5,00
Selênio	nd	nd	nd	-	1,00
Zinco	0,249	0,265	0,234	0,249	-
nd – não detectado					
VMP - Valor Máximo Permitido (mg, L ⁻¹) NBR 10.005					

Quanto à análise de lixiviação, confirma-se que as exposições a intemperismo, ou processo de lavagens não influenciarão a ADF-M. Desta forma, os resultados de ensaio de lixiviação permitem classificar a ADF-M como Classe II, isto é, não apresenta risco a saúde.

Os ensaios de extrato do solubilizado foram conduzidos para as amostras em triplicatas da ADF-M e está apresentado na Tabela 14. Os resultados da análise da ADF-M comprovam que os metais, com exceção do cálcio, magnésio, níquel e zinco, não solubilizaram acima do limite máximo permitido para cada espécie química analisada de acordo com os valores máximos permitidos da NBR 10006 [52].

As espécies metálicas, cálcio, magnésio, níquel e zinco não possuem valores estabelecidos de acordo com a NBR 10.006 [52]. De acordo com Resolução CONAMA nº430/2011 [67], níquel e zinco estão abaixo dos valores máximos permitidos para lançamento em efluentes. No caso do Alumínio, cuja concentração máxima permitida é de 0,20mg/L, os valores encontrados na análise do extrato solubilizado podem ser encontrados no solo da região de Presidente Prudente.

O cálcio, magnésio (solubilizado) e alumínio (lixiviado) com concentrações significativas, podem ser modificadas quando a ADF-M for incorporado em matrizes cimentícia para a produção de blocos concreto.

Através dos ensaios de solubilização, a ADF-M pode ser reutilizado em locais sujeitos a intempéries e os constituintes da ADF-M não apresentam riscos de contaminação ao meio ambiente. Portanto, a ADF-M é classificada como classe II A, ou seja, não perigosos e não inertes.

Tabela 14 - Concentração de metais no solubilizado da ADF-M

Parâmetro	Concentração (mg, L ⁻¹)			Média	VMP (mg, L ⁻¹)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3		
Alumínio	0,394	0,376	0,369	0,380	0,20
Arsênio	nd	nd	nd	-	0,01
Bário	nd	nd	nd	-	0,70
Cadmio	nd	nd	nd	-	0,00
Cálcio	2,024	2,017	2,040	2,027	-
Chumbo	nd	nd	nd	-	0,05
Cobre	0,008	0,003	0,006	0,005	2,00
Cromo	nd	nd	nd	-	0,05
Magnésio	2,149	2,159	2,183	2,144	-
Manganês	nd	nd	nd	-	0,10
Mercúrio	nd	nd	nd	-	0,001
Níquel	nd	nd	nd	-	2,0*
Ferro	0,060	0,012	0,024	0,032	0,30
Zinco	0,001	0,003	0,003	0,002	5,0*
nd – não detectado VMP - Valor Máximo Permitido (mg, L ⁻¹) NBR 10.006 * Resolução CONAMA					

3.8 - Análise Granulométrica

Após a realização do ensaio de granulometria, foram pesadas as massas retidas da Areia, das ADF e ADF-M 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 das Tabelas 15 (areia natural) e Tabelas 16 a 21 (das ADF e ADF-M), em que estão representados os limites máximo e mínimo da zona ótima e utilizável para a classificação como

agregado miúdo, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2005) [61]. A curva granulométrica da areia natural está apresentada na Figura 33 e das ADF e ADF-M, na Figura 34.

Tabela 15 - Caracterização da areia natural

AREIA - 1,2 kg (1000,2g)							
Peneira	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Acumulada	Limites de Zona Utilizável (%)		Limites Zona Ótima (%)	
4	4,76	8,1	0,81	0	10	0	5
8	2,38	39,0	4,71	0	25	10	20
16	1,19	107,2	15,43	5	50	20	30
30	0,59	285,5	43,98	15	70	35	55
50	0,29	339,9	77,97	50	95	65	85
100	0,149	192,0	97,17	85	100	90	95
200	0,0074	27,3	99,9	---	---	---	---
FUNDO	0	1,0	100	---	---	---	---
NBR 7217: 1987				NBR 7211:2005			
Módulo de Finura: 2,4							

Figura 33 - Distribuição granulométrica da areia natural

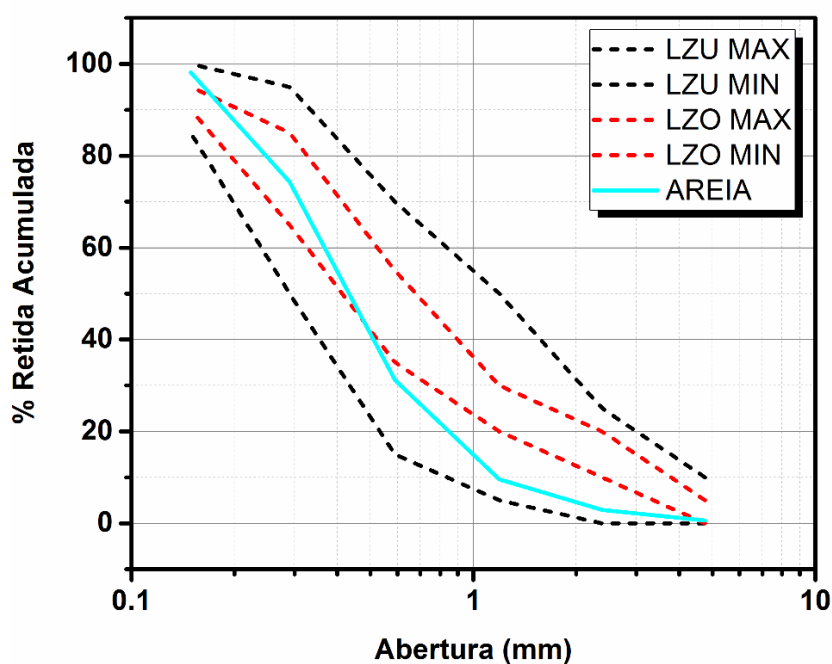
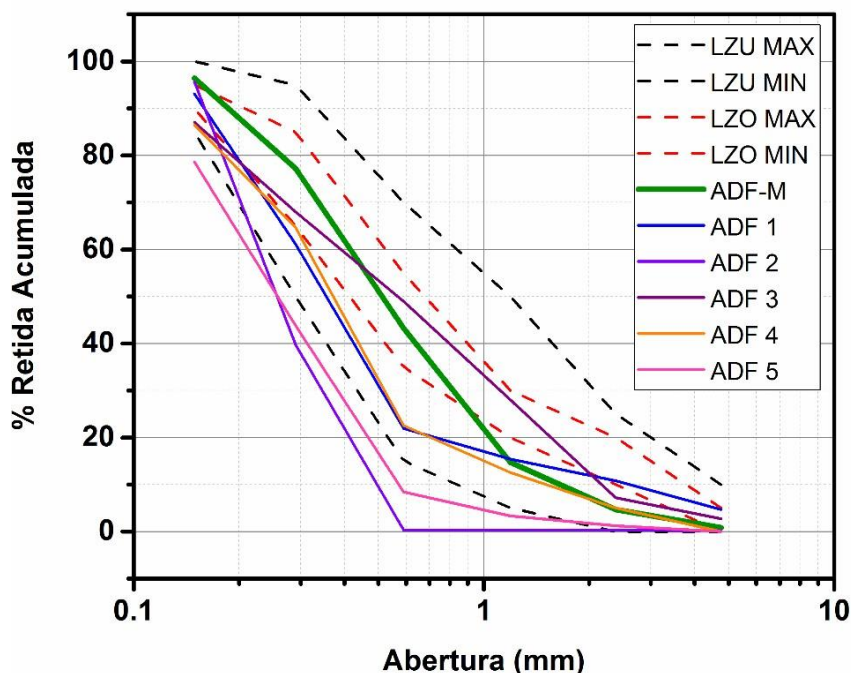


Figura 34 - Distribuição granulométrica da ADF-M

Através da curva granulométrica da areia natural (Figura 33), é notório que esta apresenta uma distribuição inserida nos Limites de Zona Ótima (L.Z.O) nas peneiras 4, 8 e 100 e nos Limites de Zona Utilizável (L.Z.U) nas peneiras 16, 30, 50 e 100.

As curvas granulométricas das ADF (Figura 34) apresentam uma destruição inserida, em alguns pontos, no limite de zona ótima e utilizável, e uma grande parte fora de ambas classificações, ou seja, as ADF apresentam distribuição de grãos diferentes da areia natural.

A curva granulométrica da ADF-M (Figura 34) se encontra dentro do limite de zona ótima (L.Z.O) nas peneiras 4, 8 e 16, e dentro do limite de zona utilizável nas peneiras 30, 50 e 100 em toda a sua extensão, classificando um modo de finura menor que a areia natural, porém compatível com as aplicações desejadas para um agregado miúdo.

A areia natural e a ADF-M foram classificadas como utilizáveis de acordo com o estabelecido pela NBR 7211 [54].

3.9 - Massa específica

Na Tabela 22 estão representados os resultados dos ensaios de massa específica dos agregados miúdos (Areia, das ADF e ADF-M), agregado graúdo (pedrisco) e cimento de acordo com a NM 52 [55]. Há variações nos valores de massa específica das ADF devido à presença de bentonita, pó de carvão e resinas fenólicas aderidos a superfície do óxido de silício (SiO_2). A massa específica da areia natural ($2,85\text{g/cm}^3$) e da ADF-M ($2,56\text{g/cm}^3$) foi utilizada para o traço de referência e traço ADF-M respectivamente. As massas específicas do cimento ARI e do pedrisco foram fornecidas pelos fabricantes que estão representados na Tabela 22.

Tabela 22 - Massa específica dos agregados miúdos e graúdos

Agregado	Massa específica (g/cm^3)
Areia natural	2,85
ADF-M	2,56
ADF 1	2,35
ADF 2	2,63
ADF 3	2,13
ADF 4	2,65
ADF 5	2,08
Cimento ARI	2,89
Pedrisco	2,85

3.10 - Concreto no estado fresco

O ensaio de abatimento de tronco de cone – *slump test* (NM 67 (1988) [59] foi realizado para o concreto usado para preparar os corpos de prova cilíndricos e blocos de concreto sextavado, de modo a constatar a coerência do concreto no estado fresco, conforme a Figura 35. O valor obtido do abatimento de tronco de cone, foi de 0 mm, tanto para o concreto no estado fresco dos corpos de prova cilíndricos, quanto para os blocos de concreto sextavado, apresentando uma consistência coerente com o traço desenvolvido. Após o ensaio foi adicionado o aditivo que deu uma consistência fluida, o que é benéfico quando analisando a maneira como são produzidos os blocos de concreto sextavado.

Figura 35 - Realização do teste de abatimento de tronco do cone

Fonte: autor

3.11 - Resistência à compressão Axial

Os resultados de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias dos corpos de prova cilíndricos com o traço de referência e traço ADF-M, blocos de concreto sextavado com o traço ADF encontram -se respectivamente nas Tabelas 23, 24 e 25.

Tabela 23 - Resistencia à compressão axial dos concretos de referência

Traço	Idade De Ruptura	Nº Amostra	TF(N)	MPa	Média (MPa)
Referência (Corpos de Prova Cilíndricos)	7	1	344470	43,86	43,42 ±0,26
		2	337218	42,93	
		3	342706	43,63	
		4	345548	43,99	
		5	335454	42,71	
	28	1	196980	57,21	58,55 ±2,64
		2	193060	55,18	
		3	192374	62,26	
		4	195706	57,15	
		5	196392	60,98	

Fonte: autor

Tabela 24 - – Resistência à compressão axial dos concretos de ADF-M

Traço	Idade De Ruptura	Nº Amostra	TF(N)	MPa	Média (MPa)
ADF-M (Corpos de Prova Cilíndricos)	7	1	196980	25,08	24,81 ±0,05
		2	193060	24,58	
		3	192374	24,49	
		4	195706	24,92	
		5	196392	25,00	
	28	1	321831	40,98	41,56 ±0,55
		2	330456	42,09	
		3	323498	41,19	
		4	333298	42,44	
		5	323106	41,14	

Fonte: autor

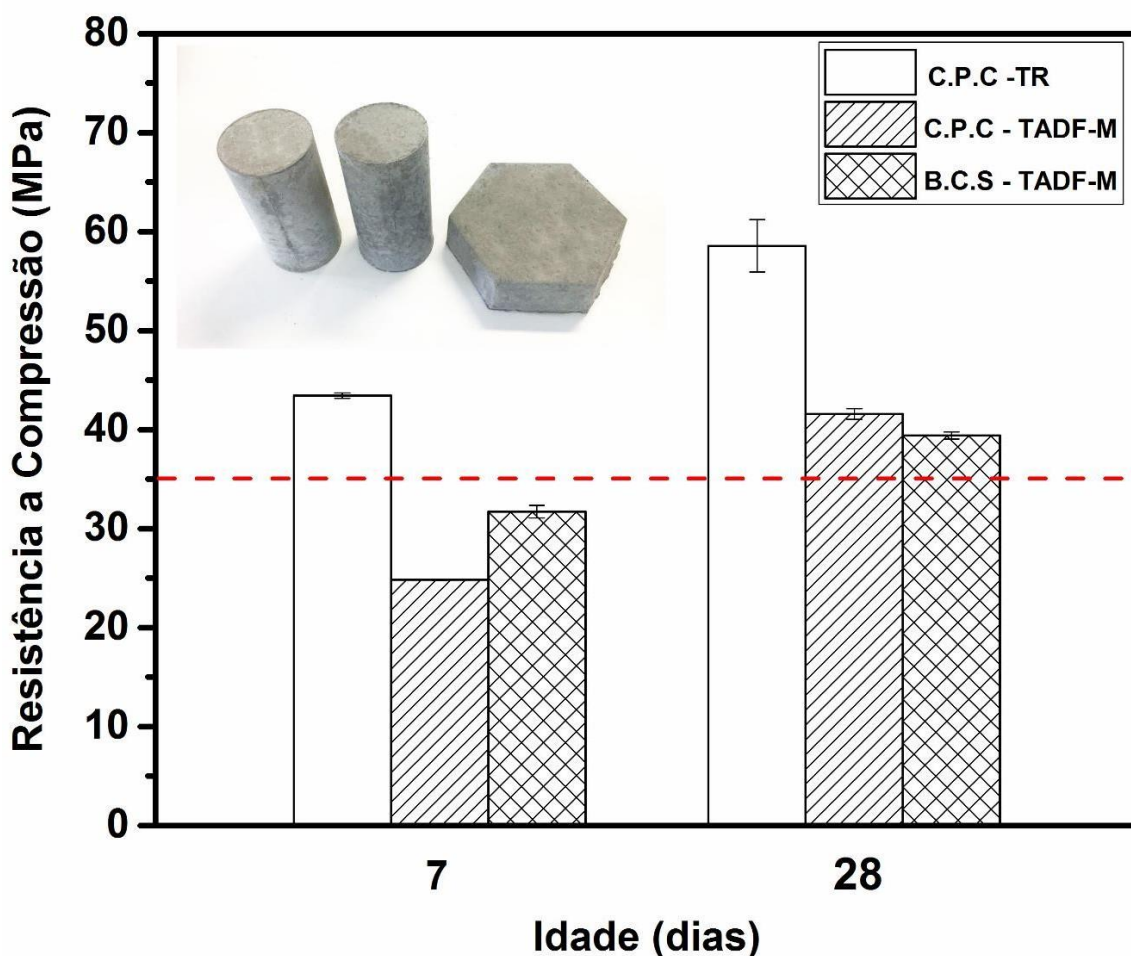
Tabela 25 - Resistência à compressão axial dos concretos de ADF-M

Traço	Idade De Ruptura	Nº Amostra	TF(N)	MPa	Média (MPa)
ADF-M (Blocos de Concreto Sextavado)	7	1	220892	32,98	31,69 ±0,63
		2	211680	31,61	
		3	207172	30,93	
		4	215012	32,11	
		5	206486	30,84	
	28	1	265482	39,64	39,38 ±0,36
		2	264012	39,42	
		3	270186	40,35	
		4	260092	38,84	
		5	323106	41,14	

Fonte: autor

A resistência à compressão axial com 7 dias, tanto para os corpos de prova cilíndricos como dos blocos de concreto sextavado atingiram valores acima de (>20 MPa). Estes valores de resistência foram constatados em decorrência da utilização de um cimento de Alta Resistência Inicial (ARI) capaz de conferir tal propriedade no curto período de tempo em que os corpos de prova e blocos de concreto foram rompidos. Já aos 28 dias as resistências médias à compressão axial constatadas foram de 58,55 MPa para os corpos de prova cilíndricos do Traço Padrão, 41,56 MPa para os corpos de prova cilíndricos do traço ADF-M e 39,38 MPa para os blocos de concreto sextavado, estando todos em conformidades com a NBR 9781 [43] que estabelece valor mínimo de 35 MPa para tráfego leve. Estes resultados são visualizados graficamente na Figura 36.

Figura 36 - Resultados da resistência à compressão axial x idade dos corpos de prova e blocos de concreto sextavado



A alta resistência à compressão axial pode ter sido obtida pelo efeito do empacotamento dos grãos da ADF-M juntamente com a pedrisco e cimento ARI. Vale ressaltar que conforme a análise de microscopia eletrônica de varredura (Figura 28, 29 e 30) e análise granulométrica (figura 34.), as partículas apresentaram diferentes tamanhos de grãos da ADF-M, resultando em um melhor encaixe entre os agregados. Outro fator importante é a composição química do cimento de alta resistência inicial (ARI) que possui em sua composição o óxido de alumínio e ferro. Como a ADF-M tem o óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) em sua concentração, segundo a análise de Fluorescência de raios X, pode ter ocorrido uma interação entre estes elementos químicos.

3.12 - Absorção de Água por Imersão

3.12.1 - Corpos de Prova Cilíndricos

A Tabela 26 e 27 apresentam os valores obtidos nos ensaios de absorção por imersão, índice de vazios, massa específica seca e saturada aos 28 dias.

Tabela 26 - Resultados do Ensaios Absorção Por Imersão (28 dias) e Índice de Vazios para os corpos de prova cilíndricos (traço de referência)

C.P.C	Massa Seca Estufa (72h) (g)	Massa Saturada imerso em água (72h) (g)	Massa Imersa Água B.H (g)	Absorção Água por Imersão (%)	Índice Vazios (%)	Massa Específica Amostra Seca	Massa Específica Amostra Saturada
1	3788,0	3882,0	2565,3	2,48	7,14	2,88	2,95
2	3722,0	3830,0	2484,6	2,90	8,03	2,66	2,85
3	3806,0	3888,0	2578,9	2,15	6,26	2,90	2,97
4	3716,0	3804,0	2548,6	2,37	7,01	2,96	3,03
5	3822,0	3920,0	2594,2	2,56	7,39	2,88	2,96
MÉDIA	3770,8	3864,8	2554,3	2,49	7,17	2,86	2,95

Fonte: autor

Tabela 27 - Resultados do Ensaio Absorção Por Imersão (28 dias) e Índice de Vazios para os corpos de prova cilíndricos (traço de ADF-M)

C.P.C	Massa Seca Estufa (72h) (g)	Massa Saturada imerso em água (72h) (g)	Massa Imersa Água B.H (g)	Absorção Água por Imersão (%)	Índice Vazios (%)	Massa Específica Amostra Seca	Massa Específica Amostra Saturada
1	3640,0	3794,0	2565,3	4,23	11,38	2,69	2,80
2	3736,0	3898,0	2484,6	4,34	11,49	2,65	2,86
3	3678,0	3832,0	2578,9	4,19	11,27	2,69	2,80
4	3720,0	3872,0	2548,6	4,09	10,95	2,68	2,79
5	3674,0	3826,0	2594,2	4,14	11,16	2,70	2,81
MÉDIA	3689,6	3844,4	2554,3	4,20	11,25	2,68	2,81

Fonte: autor

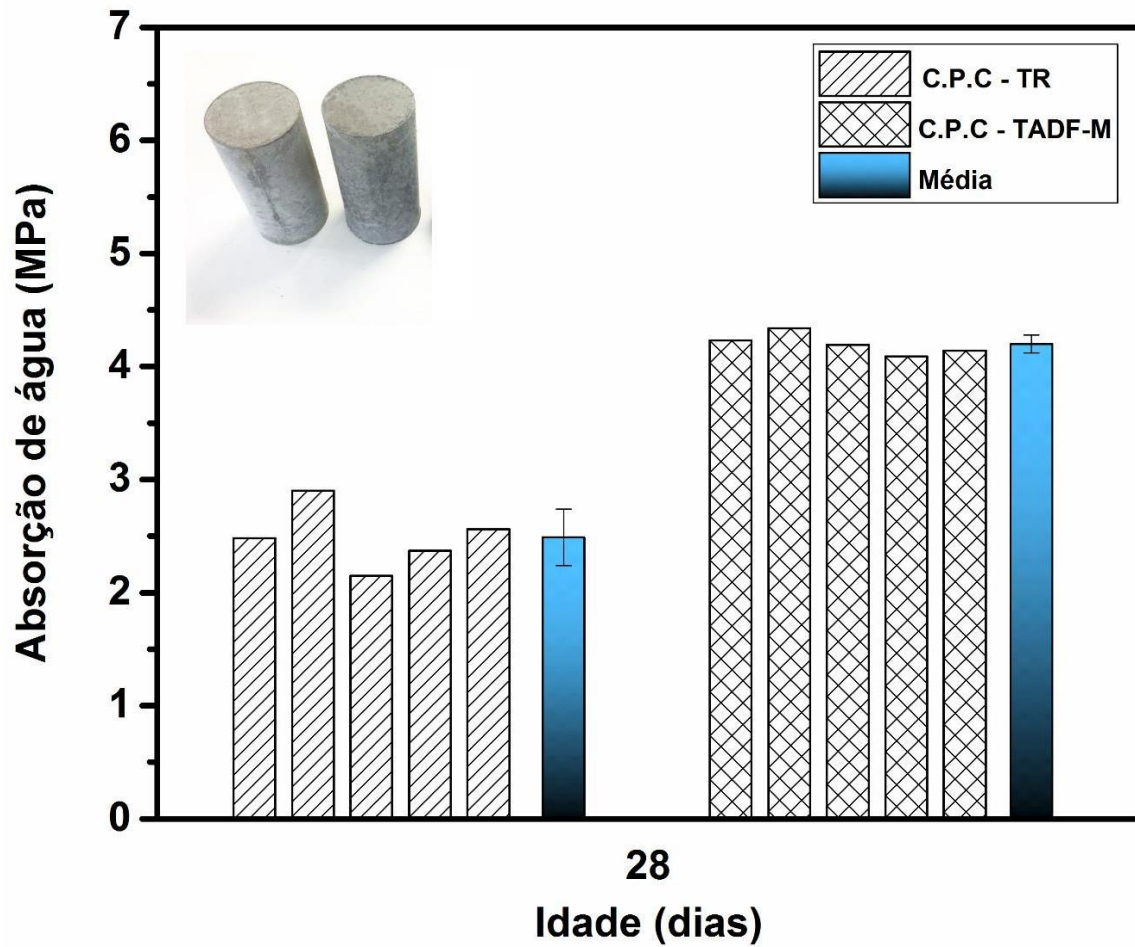
A média dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão dos corpos de prova cilíndricos (traço referência e traço ADF-M) foram da ordem de 2,49% e 4,20% respectivamente. Tal diferença nos resultados pode ser atribuída a presença de argila aderida aos grãos de ADF-M, (conforme comprovados pelo microscópio eletrônico de varredura apresentado e análise textural da ADF-M na tabela 12), potencializando a absorção desses em comparação aos grãos de areia natural.

De acordo com a média dos índices de vazios obtidos dos corpos de provas cilíndricos do traço referência e traço ADF-M foram da ordem de 7,17% e 11,25% respectivamente. O índice de vazios tem relação entre os poros permeáveis e o volume total da amostra, neste sentido é notório que o traço referência apresenta uma concentração menor de poros permeáveis em relação ao de ADF-M.

Com relação a massa específica seca em comparação com a saturada, observa-se que apresentou um índice de absorção de água (4,20%) o que é benéfico quando analisado em relação ao concreto pois o torna mais impermeáveis.

A Figura 37 apresenta graficamente os valores obtidos no ensaio de absorção de água por imersão dos corpos de prova cilíndricos (Traço Padrão e Traço ADF-M) aos 28 dias.

Figura 37 - Absorção de Água por imersão dos C.P.C



3.12.2 - Blocos de Concreto Sextavado

Tabela 28 - Resultados Ensaio Absorção Por Imersão (28 dias) dos blocos de concreto sextavado saturado e seco em estufa

Identificação das peças	Pesagem 1 (após 24h)	Pesagem 2 após 2h da Pesagem 1)
SATURADO		
1	4728,1	4728,0
2	4762,0	4762,0
3	4534,0	4534,0
4	4631,1	4731,0
5	4677,0	4677,0
SECO EM ESTUFA		
1	4476,1	4476,0
2	4550,2	4550,0
3	4299,2	4299,0
4	4479,1	4479,0
5	4460,1	4460,0

Fonte: autor

Diante dos resultados da pesagem 1 e 2, Tabela 28, os blocos de concreto não apresentaram diferença de massa maior que 0,5% em nenhum caso, não havendo a necessidade da pesagem 3. Então é considerado para os cálculos da Tabela 29 os valores obtidos na pesagem 2.

Tabela 29 - Resultados Ensaio Absorção Por Imersão (28 dias) dos blocos de concreto sextavado

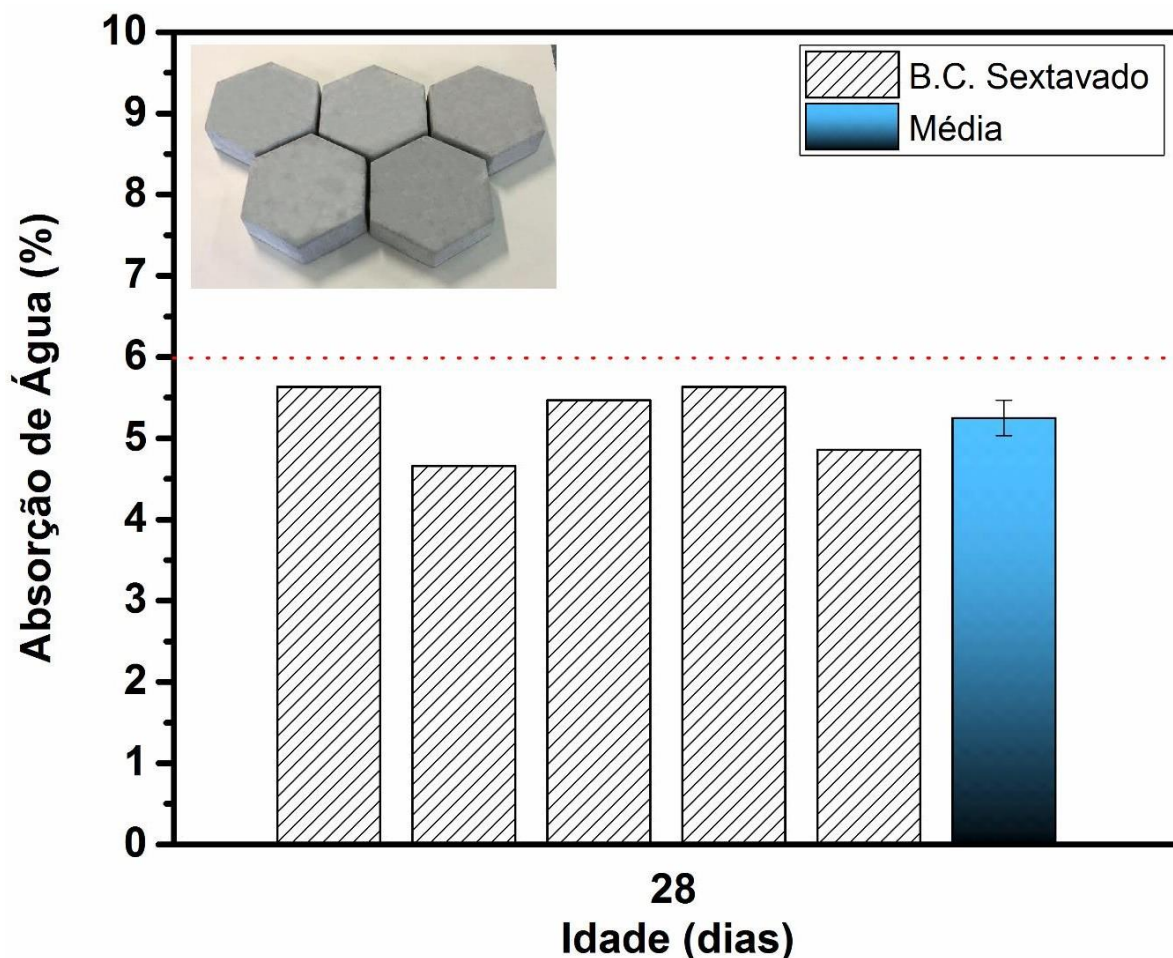
Identificação das B.C.S	Saturado	Seco em estufa	Absorção Individual (%)	Média
1	4728,0	4476,0	5,63	5,25 ±0,22
2	4762,0	4550,0	4,66	
3	4534,0	4299,0	5,47	
4	4731,0	4479,0	5,63	
5	4677,0	4460,0	4,86	

Fonte: autor

A média dos resultados obtidos do ensaio de absorção de água por imersão dos blocos de concreto sextavados foram da ordem de 5,25% ± 0,22. Em conformidade com a norma NBR 9781 [43] que estabelece absorção de água menor ou igual a 6 %, para as peças de concreto utilizados em pavimento intertravado. A absorção de água dos blocos de concreto tem relação com a porosidade da ADF-M e as condições de cura (submerso em água saturado com cal) nas quais foram submetidos.

A Figura 38 apresenta os valores obtidos no ensaio de absorção de água por imersão dos blocos de concreto sextavado (Traço ADF-M) aos 28 dias.

Figura 38 – Absorção de Água dos B.C.S



Cabe ressaltar/destacar que a quantidade de ADF-M adotado nesse trabalho foi de 453,5 Kg. A utilização de um valor maior, pode acarretar em valores superiores de absorção de água e índice de vazios devido a presença de bentonita aderido aos grãos da ADF-M, uma vez que a bentonita tem a capacidade de inchamento quando em contato com água [61], podendo expandir várias vezes o seu volume.

3.13 - Microscopia Óptica dos Blocos de Concreto Sextavado

A microscopia Óptica visa a observação da superfície e área interna dos blocos de concreto sextavado para o conhecimento da interação das ADF-M, pedrisco e o cimento. A imagem da área interna do bloco de concreto sextavado está apresentada na Figura 39. Na micrografia é possível verificar uma distribuição

entre os agregados e a matriz cimentícia. Há uma boa homogeneidade entre os grãos da ADF-M, pedrisco e o cimento, onde alguns grãos de ADF-M estão arredondados, enquanto outros apresentam forma sub-angulares.

Figura 39 - Micrografia com ampliação nominal de 80x da área interna bloco de concreto sextavado



3.14 - Viabilidade econômica ADF-M

Embora a viabilidade econômica não seja parte do objeto deste trabalho, uma análise financeira superficial, do processo de reutilização do resíduo na fabricação de blocos para pavimentação, mostra que para cada 1 toneladas de resíduo de ADF são necessários 0,907 tonelada de cimento (~R\$345,00), 1,78 toneladas de pedrisco (~R\$65,86) e 2,66 quilogramas de aditivo (~R\$9,31), com custos referentes à usinagem e fabricação (~R\$300,00), somando um custo aproximado a R\$720,17. Nessas quantidades é possível produzir 2,20m³ de concreto, ou seja, 780 unidades de blocos sextavados nas medidas de 20cmx20cmx6cm, com um valor médio de venda unitário (~R\$2,00) proporcionariam um retorno de R\$839,83. Demonstrando que mesmo que o resíduo de ADF fosse comprado ainda seria vantajoso pois para depositar 1 tonelada de em aterro industrial o valor aproximado do descarte é de

R\$1.200,00. Valor orçado em aterro licenciado no estado de São Paulo. A Tabela 30 traz os preços dos materiais utilizados para a produção dos blocos de concreto sextavado, em R\$/kg e m³/t.

Tabela 30 - Custo de materiais utilizados para a produção de 780 blocos de concreto sextavado com o traço ADF-M.

Constituintes	1 m³	2,20 m³	2,20 m³	1t	Total
ADF-M	453,5 Kg	1000.0 Kg	1 t	x	R\$ 720,17
Cimento*	412,7 Kg	907,94 Kg	0,907 t	R\$ 345,00	
Pedrisco*	809,9 Kg	1781,78 Kg	1,78 t	R\$ 65,86	
Aditivo	0,825 Kg	2,66 Kg	0,0026 t	R\$ 9,31	
Usinagem	-	-	-	R\$ 300,00	
* Preço fornecido pela Industria de Concreto					

Fonte: autor

4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos através das diferentes técnicas de caracterização e produção dos blocos de concreto sextavado com a substituição total da areia pela mistura das areias descartadas de fundição (ADF-M), constata-se:

A partir da análise granulométrica, verificou-se diferença na granulometria das ADF e ADF-M em relação a areia, em que os resíduos de fundição se apresentaram mais fino.

A partir da dosagem experimental, verificou-se que a ADF-M necessita sempre de um valor de A/C maior que o traço de referência, devido a presença dos aditivos, principalmente a bentonita, em torno dos grãos do óxido de silício (ADF-M). o que contribui para uma maior quantidade de Água de amassamento, elevando a relação A/C no traço ADF-M, aumentando a porosidade do concreto.

Os resultados mecânico e físico (resistência à compressão axial e absorção de água). apontaram que é possível o emprego da ADF-M em blocos de concreto sextavado. A norma ABNT 9781 *Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio*, as seguintes condições para aceitação dos blocos de concreto com resistência à compressão ≥ 35 MPa e absorção de água por imersão de 6%.

As análises de lixiviação e solubilização comprovam que a ADF-M não contamina o meio ambiente. Através do ensaio de lixiviação foi possível classificar a ADF-M como classe II, ou seja, resíduo não perigoso. No ensaio de solubilidade os metais não solubilizaram acima do limite permitido, exceto o alumínio. Os valores de alumínio são encontrados no solo da região do Oeste Paulista. A ADF-M foi classificada como Classe II – Não perigosos e não inerte.

A análise de custo dos blocos de concreto sextavado (20x20x6cm) mostraram que é viável a utilização da ADF-M pelas indústrias de fundição, tendo um retorno de aproximadamente R\$ 839,83 na produção dos blocos de concreto

Portanto, os blocos de concreto sextavado obtidos nesse trabalho atendem aos critérios de aceitação estabelecidos pelas normas brasileiras, comprovando a viabilidade técnica, econômica e ambiental para a aplicação dos blocos de concreto para pavimentação intertravado.

REFERÊNCIAS

- [1] FAGUNDES, F. B.; VAZ, C.R.; OLIVEIRA, I. L.; KOVALESHI, J.L.; Caminhos para a sustentabilidade do setor de fundição no Brasil. **GEPROS, Gestão da produção, operações e Sistemas**, v.5, n. 2, p. 27-40, 2010.
- [2] BRASIL. Congresso Nacional. Lei Federal nº 9.605, promulgada em 12 de fevereiro de 1998 – **“Lei de Crimes Ambientais”**, e regulamentada pelo Decreto Federal nº 3.179, de 21 de setembro de 1999. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm
- [3] BRASIL. Congresso Nacional. Lei Federal nº 6.938, sancionada em 31 de agosto de 1981 – **“Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Anuário ABIFA 2015: Guia ABIFA de fundição**. Disponível em: <<http://abifa.org.br/wpcontent/uploads/2015/08/Anu%C3%A1rio-ABIFA-Junho-2015.pdf>>. Acesso em: 10 dez.2017.
- [5] SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis. 2005.
- [6] DANTAS, J. M. Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundição: **Regenerador Térmico** - Plano de Trabalho da Fase II. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo. Nov. 2003.
- [7] SIEGEL, M. **Fundição**. Associação Brasileira de Metais (ABM). 12. ed. São Paulo: Edilé, 1981.
- [8] BRADASCHIA, C. et al. **Fundição de ligas não ferrosas**. 3. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais (ABM), 1971.
- [9] **Fundição & Matérias-primas** São Paulo, v. 186, fev. 2016. Disponível em: <<http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/04/abifa-189-fevereiro.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- [10] CASOTTI, B. P.; BEL FILHO, E.; CASTRO, P. C. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, n. 33, mar. 2011, p. 121-162, 2011.
- [11] PERII, P. R. **Fundição**. Escola Técnica Federal de Santa Catarina. 1986
- [12] CARNIN, R.L.P. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas**. 2008. 131 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

- [13] MARIOTTO, C. L. **Areias de Moldagem aglomeradas com argila**. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A, 1978.
- [14] MELLO, O. J. **Estudo da viabilidade da reutilização de resíduo de areia verde de fundição em argamassa colante** – Enfoque ambiental. 2004, 159 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau. Blumenau/SC, 2004.
- [15] CAMPOS F, M, P. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.
- [16] KONDIC, V. **Princípios metalúrgicos de fundição**. São Paulo: Póligono, 1973.
- [17] BEHNAM, M.M.J.; DAVAMI, P.; VARAHRAM, N. Effect of cooling rate on microstructure and mechanical properties of gray cast iron. **Materials Science & Engineering A**. v.528, p.583-588, 2010.
- [18] Giannini, A. R. Resinas sintéticas para aglomeração de areia. **Mineração e metalurgia**, 1995.
- [19] FERREIRA, G. C; DAITX, E.C. A. A mineração de areia industrial na Região. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 56, p. 59-65, 2003.
- [20] MARIOTTO, C. L. **Areias de Moldagem aglomeradas com argila**. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A, 1978.
- [21] BONIN, A. L., ROSSINI, A.J., ZABIM, A. F. P. Reutilização da areia preta de fundição na construção civil. **Anais do Congresso Brasileiro de Fundição – CONAF 95 ABIFA**. Campinas/SP, 1995.
- [22] SILVA, C.E.; JÚNIOR, L.C.S.; CARVALHO, S.M.; BATISTA DA SILVA, R.E. Reaproveitamento de resíduos de areia de fundição – Resultados preliminares. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – **CBCimat**. Campos do Jordão, SP, p 2041- 2048, 2010.
- [23] NBR 10004: **resíduos sólidos** – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- [24] ALVEZ, B. S. Q. **Estudo da viabilidade ambiental das areias descartadas de fundição**. 2012. 183 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.
- [25] BARROS, R.; BATISTA PINTO F.; BRITO, R.; SILVA G.; TIAGO FILHO G.; SILVA F. Study of the Properties of Concrete Containing Waste Foundry Sand as Part of the Aggregate. **Advanced Materials Research**. Chapter 1. v. 838 -841, p. 131 -136, 2014.
- [26] PRABHU, G.G.; BANG, J.W.; LEE, B.J.; HYUN, J.H.; KIM, Y.Y. Mechanical and durability properties of concrete made with used foundry sand as fine aggregate, **Adv. Mater. Sci. Eng.** (2015) 1–11.

- [27] BASAR, H.M.; AKSOY, N.D. The effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the mechanical, leaching and micro-structural characteristics of ready-mixed concrete, **Constr. Build. Mater.** 35 (2012) 508–515.
- [28] American Foundrymen's Society (AFS), Alternative utilization of foundry waste sand. **Final Report** (Phase I), 1991.
- [29] ETXEBERRIA, M.; PACHECO, C.; MENESES, J.M.; BERRIDI, I. Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregates, **Constr. Build. Mater.** 24 (2010) 1594–1600.
- [30] SAHMARAN, M.; LACHEMI M.; ERDEM T.K.; YUCEL H.E.; YÜCEL H.E. Use of spent foundry sand and fly ash for the development of green self-consolidating concrete, **Mater. Struct.** 44 (2011) 1193–1204.
- [31] SINGH, G.; SIDDIQUE, R. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS), **Constr. Build. Mater.** 28 (2012) 421–426.
- [32] THAARRINI, J.; RAMASAMY, V. **Properties of Foundry Sand, Ground Granulated Blast Furnace Slag and Bottom Ash Based Geopolymers under Ambient Conditions**, (2016) 1–10.
- [33] JI, S., WAN, L., & FAN, Z. (2001). The toxic compounds and leaching characteristics of spent foundry sands. **Water, Air, & Soil Pollution**, 132(3-4), 347-364.
- [34] NBR 10005: **procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.
- [35] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - ABNT – **NBR 15702: Areia descartada de fundição – Diretrizes área aplicação em asfalto e em aterro sanitário, determina o uso da ADF como camada de cobertura diária dos resíduos de aterros sanitários**. Rio de Janeiro, 2009.
- [36] ABIFA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. Soluções para as Areias descartadas de Fundição – ADF. **Revista Fundição & Matérias-primas**, 98º ed., São Paulo. Julho, 2008.
- [37] SIDIMEI – Sindicato Intermunicipal das Indústrias Metalúrgicas, Mecânicas e do Material Elétrico de Itaúna. **Depósito de resíduos industriais Sidimei Tarcísio Cardoso de Souza**. Disponível em: <http://www.sindimei.com.br/conteudo/deposito-de-residuos-industriais-sindimei>. Acesso em: 26 jul. 2018.
- [38] PABLOS, J.; SICHIERI, E.; IZELI, R. (2009). Reutilização de resíduo sólido industrial, constituído por areias de fundição, na fabricação de tijolos maciços e peças decorativas. Risco: **Revista De Pesquisa Em Arquitetura E Urbanismo** (Online), (10), 112-125.

[39] GUERINO, K.B.; VICENZI, J.; BRAGANÇA, S.R.; BERGMANN, C.P. “Uso de areia de fundição como matéria-prima para a produção de cerâmicas brancas triaxiais”, **Ceram. Ind.** 15 (2010) 42-46.

[40] Areia descartada de fundição (ADF) transformada em blocos de concreto. **Revista da Abifa**. Disponível em: <http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2014/09/ABIFA-171-agosto.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2018.

[41] MARTIN, A. C; UENO, O. K; FOLGUERAS, M. V. Utilização de areia descartada de fundição (adf) como substituinte parcial da sílica em um vidro soda-cal. 22 °CBECiMat – **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Natal, RN, Brasil. 2016

[42] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Peças de concreto para pavimentação- Especificação e métodos de ensaio**. NBR 9781, 2013

[43] FERNANDES, I; **Bloquete Sextavado**. Consultoria em Concreto (2009). Disponível em: <http://doutorbloco.com.br/wp-content/uploads/2015/01/Sextavado03.pdf>.

[44] FERNANDES, I. **Blocos e Pavers: Produção e Controle de Qualidade**. 7ª ed. Ribeirão Preto: Copyright, 2016.

[45] Hoffman, P. (1301). **Method and system for labeling and managing the sale of manufactured concrete blocks**.

[46] NEVILL, A. M; **Tecnologia do Concreto**. 2ªed. São Paulo: Bookman, 2013

[47] BALDO, J. T; **Pavimento de Concreto**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2009

[48] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland Composto**. NBR 7217, 1987.

[49] MORIYAMA, T.; INOUE, M. **Sample retainer for x-ray fluorescence analysis, x-ray fluorescence analyzing method using the same and x-ray fluorescence spectrometer therefor**.

[50] ALBERS, A. P. F. et al. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X (A simple method for the characterization of clay minerals by X-ray diffraction). **Cerâmica**. v.48, n.305, p. 34, 2009.

[51] MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. **Análise térmica de materiais**. São Paulo: Artliber Ltda, 2009. p. 324.

[52] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. NBR 7217, 1987.

- [53] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman**. NBR 9776, 1987.
- [54] ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação prática recomendada**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland ,1995.
- [55] ALTHOFF, P.S.; THIEN, S.J.; TODD, T.C. Primary and Residual Effects of Abrams Tank Traffic on Prairie Soil Properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 6, p. 2151-2161, Nov 2010.
- [56] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da resistência pelo abatimento de tronco de cone**. NBR NM 67, 1998.
- [57] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. NBR 5739, 2007.
- [58] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Peças de concreto para pavimentação- Especificação e métodos de ensaio**. NBR 9781, 2013
- [59] NBR 9778: **argamassas e concretos endurecidos**: determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- [60] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregados para concreto – Especificação**. NBR 7211, 2005.
- [61] CHEGATTI, S. **Estudo da influência da bentonita presente nas areias descartadas de fundição na contaminação do solo e águas subterrâneas**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ANEXO**Carta traço referência****Carta Traço**

Ref.: Carta traço desenvolvida para fabricação de artefatos de concreto.

Composição de traço por metro cúbico, conforme solicitado:

FCK 40MPA		
MATERIAL	QDE	UNI
ÁGUA	150,9	LTS
AREIA LAVADA	508,3	KG
PEDRISCO	809,9	KG
CIMENTO	412,7	KG

OBS.: Os traços estão sujeitos à alteração, devendo manter as características técnicas previstas em contrato, normas e especificações e não sua composição.



Engº Responsável

03 de Maio de 2019.

Espectros de Energia Dispersiva da ADF-M

