

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

NATALIA CRISTINA MARTINI

**REUSO DE AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO PARA A
CONFECÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2017

NATALIA CRISTINA MARTINI

**REUSO DE AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO PARA A
CONFECÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de “Engenharia Ambiental”.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Sueli Tavares de Melo Souza

Co-orientadora: Prof.^a Msc. Tatiana Vettori Ferreira

**LONDRINA
2017**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**REUSO DE AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO PARA A
CONFECÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL**

por

Natalia Cristina Martini

Monografia apresentada no dia 08 de junho de 2016 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Thiago Melanda Mendes
UTFPR

Profa. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco
(UTFPR)

Profa. Dra. Sueli Tavares de Melo Souza
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

A folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me proporcionado oportunidades inigualáveis cercada por pessoas de bem.

À professora Sueli Tavares de Melo Souza, pela orientação, pelo entusiasmo transmitido em todas as etapas da realização deste trabalho e ensinamentos de vida que levarei para sempre.

À professora Tatiana Vettori, pela coorientação, e ao Centro Universitário Filadélfia (UniFil) pela parceria.

Às empresas parceiras que possibilitaram a realização deste trabalho, especialmente ao Sr. Paulo, Sr. Sérgio, Sr. João Marcelo e Sr. Júlio, pela disposição em ajudar e sanar dúvidas.

Ao professor João Cairo pelas contribuições.

À instituição Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, especialmente à professora Sílvia pela contribuição e ao Sr. José pela ajuda quando, inúmeras vezes, carregamos os blocos.

À todos os amigos que acompanharam o processo desse trabalho e estavam sempre de prontidão para conversas e desabafos.

Ao Pedro Henrique, fiel companheiro, que sempre me motivou e não me deixou esquecer que sou capaz. Por me proporcionar felicidade, inclusive nos momentos em que a frustração e cansaço pareciam prevalecer.

À minha mãe, Maria Lindamir, por todo o seu amor e confiança, sempre motivando a trilhar o caminho do bem, sem perder a coragem e a determinação. À ela, a minha eterna gratidão.

Ao meu pai, irmãos, cunhada e amadas sobrinhas, por não me deixarem esquecer, que independente das circunstâncias, eu sempre terei um lugar de conforto quando o fardo das responsabilidades parecer muito pesado.

RESUMO

MARTINI, Natalia C. Reuso de areia descartada de fundição para a confecção de bloco de concreto estrutural. 2017. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

A indústria de fundição é responsável pela geração de grande volume de resíduos com potencial de prejudicar a saúde pública e o meio ambiente. A areia descartada de fundição (ADF), sendo o seu principal resíduo, é classificada pela ABNT NBR 10.004:2010 como Classe I ou Classe II-A, conforme os elementos utilizados na mistura que irão, ou não, lhe atribuir periculosidade. A necessidade de desenvolver técnicas para a reutilização da ADF, com o intuito de minimizar o volume de disposição em aterros, não só proporciona vantagens relacionadas ao custo do aterramento, mas pode gerar economia quando for utilizada na substituição parcial em processos que utilizam areia virgem natural. Os benefícios ambientais acarretados, seriam a prolongação da vida útil de aterros industriais e a redução da demanda da extração de recursos naturais. Neste contexto, este trabalho objetiva a viabilidade técnica da produção de blocos de concreto estrutural (14x19x34) com a utilização de ADF como agregado miúdo. Foram efetuados testes de lixiviação e solubilização que classificaram a areia descartada de fundição utilizada como Classe II – A. Em seguida, realizou-se, a caracterização física (massa unitária, massa específica, material pulverulento e granulometria) de todos os agregados constituintes da mistura do bloco de concreto e determinou-se a substituição parcial de 15% da areia natural pela ADF. Os blocos produzidos foram caracterizados de acordo com os parâmetros: análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias. Também, foi realizado o ensaio de resistência à compressão do prisma. Todos os requisitos relacionados com a resistência foram atingidos, comprovando a viabilidade técnica bloco com adição de ADF com função estrutural. Com o intuito de compreender a atuação da ADF na mistura, em virtude de sua composição (areia, carvão e bentonita), realizou-se a análise da macroestrutura por meio de estereoscópio. Concluiu-se, que a presença de bentonita exigiu elevada quantidade de água para a produção do concreto, entretanto a granulometria do resíduo proporcionou maior preenchimento de vazios, resultando em uma matriz mais homogênea conferindo resistência ao material. Com todos os resultados e análises foi determinado que a ADF pode ser utilizada como agregado miúdo na produção de blocos de concreto estrutural.

Palavras-chave: Resíduo sólido industrial; Indústria de fundição; Reaproveitamento de resíduos; Alvenaria estrutural.

ABSTRACT

MARTINI, Natalia C. Reuse of sand casting discarded for fabrication of structural concrete block. 2017. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

The foundry industry is responsible for generating large volumes of waste with potential to harm public health and the environment. Discarded sand casting (ADF), being its main waste, is classified by ABNT NBR 10.004: 2010 as Class I or Class II-A, according to the elements used in the mixture that will or will not give it hazardousness. The need to develop techniques for the reuse of the ADF, in order to minimize the volume of landfill disposal, not only provides advantages related to the cost of grounding, but can generate savings when used in partial replacement in processes that use natural virgin sand. The environmental benefits entailed would be the extension of the useful life of industrial landfills and the reduction of the demand of the extraction of natural resources. In this context, this work aims at the technical feasibility of the production of structural concrete blocks (14x19x34) with the use of ADF as a small aggregate. Leaching and solubilization tests were carried out, which classified the casting sand used as Class II - A. Afterwards, was held a physical characterization (unit mass, specific mass, pulverulent material and grain size) of all the aggregates constituting the mixture of the concrete block and was determined the partial replacement of 15% of the natural sand by the ADF. The blocks produced were characterized according to the parameters: dimensional analysis, water absorption and resistance to axial compression at 7 and 28 days. Also, the prism compression strength test was performed. All requirements related to resistance were achieved, proving the technical feasibility block with structural function with addition of ADF. In order to understand the performance of the ADF in the mixture, by virtue of its composition (sand, coal and bentonite), the macrostructure was analyzed through a stereoscope. It was concluded that the presence of bentonite required a high amount of water for the production of the concrete. However, the gran size of the residue provided a greater filling of voids, resulting in a more homogeneous cement matrix conferring resistance to the material. With all results and analyzes it was determined that ADF can be used as aggregate in the production of structural concrete blocks.

Keywords: Industrial solid waste; Foundry industry; Waste reuse; Structural masonry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vazamento do metal líquido no molde de areia verde.....	19
Figura 2 - Geração de resíduos do processo de moldagem.....	23
Figura 3 - Tipos de blocos de concreto e suas dimensões.....	29
Figura 4 - Macroestrutura do concreto.....	32
Figura 5 - Areia descartada de fundição (ADF).....	34
Figura 6 - Representação do uso do bloco de amarração de parede em “L”	36
Figura 7 - Amostra de areia grossa, pedrisco, pó de pedra e ADF.....	37
Figura 8 - Conjunto de materiais para a determinação da massa específica agregado graúdo.....	40
Figura 9 - Processo de lavagem do pó de pedra para determinação de material pulverulento.....	41
Figura 10 - Dimensões do bloco de concreto.....	46
Figura 11 - Medição da parede transversal e do furo do bloco de concreto.....	47
Figura 12 - Métodos de preparação de superfície para o ensaio de resistência à compressão.....	48
Figura 13 – Prismas.....	51
Figura 14 - Curva granulométrica da areia grossa.....	55
Figura 15 - Curva granulométrica do pó de pedra.....	56
Figura 16 - Curva granulométrica da ADF.....	57
Figura 17 - Curva granulométrica do pedrisco.....	58
Figura 18 - Traço do bloco de concreto de referência.....	59
Figura 19 - Traço para o bloco de concreto com a substituição total da areia grossa pela ADF.....	60

Figura 20 – Traço para o bloco de concreto com substituição de 15% da areia grossa pela ADF.....60

Figura 21 – Macroestrutura do bloco de concreto de referência e bloco de concreto com adição de ADF.....66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Produção regional de fundidos em toneladas.....	18
Quadro 2 - Ensaio e respectivas normas para os agregados miúdos e graúdo.....	38
Quadro 3 - Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	43
Quadro 4 - Limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo utilizado para o pedrisco.....	43
Quadro 5 - Classificação do agregado miúdo quanto ao módulo de finura.....	44
Quadro 6 - Tamanho da amostra.....	46
Quadro 7 - Requisitos para resistência característica à compressão axial e absorção de água.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa granulométrica proposta pela Besser Company.....	44
Tabela 2 - Faixa granulométrica proposta pelo autor Fernandes.....	45
Tabela 3 - Massa unitária e Massa específica dos agregados miúdos e graúdos.....	53
Tabela 4 - Material pulverulento (%).....	54
Tabela 5 - Composição granulométrica da areia.....	55
Tabela 6 - Composição granulométrica do pó de pedra.....	56
Tabela 7 - Composição granulométrica da ADF.....	57
Tabela 8 - Composição granulométrica do pedrisco.....	61
Tabela 9 - Dimensões dos blocos de referência e blocos com adição de ADF.....	62
Tabela 10 - Resultados do ensaio de absorção de água dos blocos de referência e blocos com adição de ADF.....	62
Tabela 11 - Resultados das resistências à compressão axial aos 7 dias dos blocos de referência e com adição de ADF.....	63
Tabela 12 – Resultados das resistências à compressão axial aos 28 dias dos blocos de referência e com adição de ADF.....	64
Tabela 13 – Resultados de resistência à compressão do prisma.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de RCD
ADF	Areia descartada de fundição
ANR	Areia natural de rio
ARI	Alta resistência inicial
$f_{bk,est}$	Resistência característica estimada do bloco
$f_{pk,est}$	Resistência característica estimada do prisma
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosur
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 A INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO NO BRASIL	18
3.2 PROCESSO DE FUNDIÇÃO	19
3.2.1 Areia de fundição	20
3.3 AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO (ADF)	23
3.4 RECICLAGEM DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO	25
3.5 ALVENARIA ESTRUTURAL.....	27
3.5.1 Alvenaria Estrutural no Brasil	28
3.6 BLOCO DE CONCRETO	29
3.6.1 Composição do bloco de concreto	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1 MATERIAIS	34
4.1.1 Areia.....	34
4.1.2 Pó de pedra.....	34
4.1.3 Pedrisco	34
4.1.4 Areia descartada de fundição (ADF)	35
4.1.4 Cimento Portland.....	36
4.1.5 Água.....	36
4.1.6 Argamassa	36
4.2 MÉTODOS.....	36
4.2.1 Coleta e caracterização dos agregados miúdos e graúdos.....	38
4.2.2 Traço	45
4.2.3 Ensaios de caracterização do bloco de concreto	46
4.2.4 Análise da macroestrutura	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	54
5.1.1 Massa unitária, massa específica e pulverulência	54
5.1.2 Granulometria	55
5.2 TRAÇO DOS BLOCOS DE CONCRETO	59
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO.....	62

5.3.1 Análise dimensional	62
5.3.2 Absorção de água	62
5.3.3 Resistência à compressão axial	63
5.3.4 Resistência à compressão do prisma.....	65
5.4 ANÁLISE DA MACROESTRUTURA.....	66
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento do setor industrial no Brasil, e conseqüentemente com a intensificação da geração de resíduos, surgiu a preocupação de como e onde descartá-los de forma a não impactar o meio ambiente. Atualmente, algumas empresas exprimem uma preocupação focada no desenvolvimento de técnicas de minimização de resíduos e buscam alternativas para a sua destinação de modo a diminuir a quantidade disposta em aterros.

Neste contexto, o setor de fundição age como contribuinte ao utilizar como matéria-prima a sucata metálica, porém, em contrapartida é significativo o volume de areia de moldagem gerada para descarte, com alto potencial poluidor necessitando de uma solução para minimização.

Como a disposição final desse resíduo é realizada em aterros industriais, esse volume descartado diminui a vida útil dos mesmos, e como consequência, provoca a necessidade da abertura de novos aterros. Com relação ao descarte inadequado, o impacto ambiental está relacionado com a contaminação de solo e lençóis freáticos devido à lixiviação e solubilização de concentrações que ultrapassam os limites tolerados de resinas fenólicas, metais e não metais que podem estar contidas na areia descartada de fundição (MACIEL, 2005).

Dessa maneira, é necessário desenvolver técnicas de reciclagem para a minimização do volume de areia descartada de fundição, visto que, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada pela Lei Federal nº12.305/2010, no gerenciamento de resíduos sólidos deve-se respeitar a hierarquia: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento e, só então, disposição final no solo.

Segundo DONAIRE (1999), as restrições e ameaças ambientais podem ser transformadas em oportunidades. A venda de resíduos para outras empresas, o desenvolvimento de novas tecnologias com caráter menos poluidor, o desenvolvimento de novos produtos, a geração de novos materiais, dentre outras atividades estão enquadradas como oportunidades.

O setor de construção civil tem sido apontado como um mercado potencial para a solução da destinação de resíduos da fundição devido a viabilidade relacionada

com a utilização das areias como agregado fino para a fabricação de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto (BIOLO, 2005).

No Brasil, a alvenaria estrutural é um sistema construtivo que, associada à preocupação com elevados custos de projetos e necessidade de destaque no setor de construção civil, impulsiona empresas a incentivarem pesquisas relacionadas com blocos de concreto. Logo, esse setor torna-se elegível como uma solução para a minimização do descarte de areia de fundição ao apresentar a possibilidade de incorporação da mesma na fabricação de blocos de concreto, já que existe a demanda desses artefatos no país (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

São nessas circunstâncias que a finalidade deste trabalho abrange o estudo da viabilidade técnica da areia descartada de fundição como matéria-prima para a confecção de blocos de concreto estrutural utilizados na alvenaria estrutural de modo a minimizar o descarte deste resíduo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade técnica da utilização de areia descartada de fundição como agregado fino na produção de blocos de concreto estrutural.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os agregados miúdos e graúdo que compõem o bloco de concreto estrutural, inclusive a areia descartada de fundição;
- Estabelecer os traços do bloco de concreto de referência e do bloco de concreto com areia descartada de fundição;
- Avaliar as propriedades mecânicas do bloco com adição de areia descartada de fundição e do prisma;
- Analisar a macroestrutura dos blocos de concreto produzidos para compreensão do comportamento do resíduo na estrutura.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO NO BRASIL

A produção de fundidos no Brasil firmou-se entre os anos 1970 e 1980, graças aos grandes investimentos em infraestrutura no país e o crescimento da indústria automotiva. Foi evidenciado um salto de pouco mais de 1 milhão de toneladas de fundidos produzidos nesse período (CASOTTI *et al.*,2011).

Atualmente, 59% de sua produção é destinada ao setor automotivo fornecendo o produto aos fabricantes de componentes automotores, autopeças e às próprias montadoras de automóveis, caminhões, ônibus e tratores. O Brasil assume a 8ª posição de maior frota mundial de veículos, a 7ª de maior produtor e a 5ª maior no mercado mundial. Portanto, é evidente a significância do setor como principal, consumidor de fundidos no país (ABIFA, 2015).

O Brasil encontra-se na sétima posição do *ranking* entre os maiores produtores de fundidos no mundo, superando países como Coreia, Itália e França, com um total de 3 milhões de toneladas anuais (ABIFA, 2015).

O número de empregos ligados à indústria de fundição e a autonomia em matérias-primas são fatores que ocasionam a independência do mercado externo. São cerca de 1.400 empresas totalizando um faturamento de 11 bilhões de dólares em 2008 (CARMELIO *et al.*, 2008). Esse total gera, em média, 50 mil empregos diretos (CASOTTI *et al.*,2011).

De acordo com o relatório de desempenho do setor de fundição (Quadro 1), a região sul do Brasil desempenha significativa participação no total da produção nacional de fundidos com a média de 34% do total de toneladas produzidas.

Quadro 1 – Produção regional de fundidos em toneladas.

Período	Mar/17	Fev/17	Mar/16	A/B	A/C	Jan-	Jan	
Região	(A)	(B)	(C)	%	%	Mar/17	Mar/16	D/E
						(D)	(E)	%
Centro	45,533	42,194	42,131	7,9	8,1	127,642	111,865	14,1
Norte/NE	4,024	4,024	3,907	(0,0)	3,0	12,152	11,238	8,1
Rio de Janeiro	16,299	15,099	13,361	8,0	22,0	35,694	27,888	28,0
São Paulo	59,647	51,788	59,746	15,2	0,2	162,704	171,490	5,1
Sul	73,112	65,502	57,308	11,6	27,6	197,808	167,131	18,4
Total	198,61	178,60	176,45	11,2	12,6	536,00	439,61	9,5

FONTE: ABIFA, 2017

3.2 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

O processo de fundição é a fabricação de peças originadas da solidificação de um metal líquido, por meio de um molde com características predeterminadas fabricado à base de areia (MATOS, 2000).

De acordo com CASOTTI *et al.* (2011) as etapas desse processo podem ser resumidas nas seguintes operações:

- *Produção do modelo da peça*: o processo inicia-se com a confecção do modelo com os atributos desejados para o resultado final da peça.

- *Produção do molde*: o molde apresenta o formato da peça a ser produzida em seu interior. É necessário que o mesmo seja capaz de suportar altas temperaturas. Um dos processos mais utilizados na indústria é a utilização da areia verde para a confecção do molde.

- *Produção dos machos*: os machos são postos nos moldes antes do seu fechamento para receber o metal líquido. Esse dispositivo delimita a área interna da peça fundida, diferente do molde que tem como função a delimitação da parte externa da peça.

- *Fechamento do molde*: o molde é composto por duas metades que juntas envolvem o macho.

- *Fusão*: Nessa etapa, o metal é fundido em forno de indução.

- *Vazamento*: após fundido, o metal líquido é transferido do forno para a panela de vazamento e em seguida despejado no molde através de um canal de descida para auxiliar o processo (Figura 1).

- *Desmoldagem*: essa etapa refere-se a retirada da peça solidificada de dentro do molde.

- *Rebarbação e limpeza*: consiste na retirada de incrustações de areia do molde na peça fundida.

Após a desmoldagem, é possível reutilizar a areia remanescente no mesmo processo de moldagem, caracterizando um sistema recirculante ao qual fica agregada, parcial ou totalmente, a areia que estava contida nos machos utilizados no procedimento. É evidenciado que devido ao uso seguido da areia recirculante a mesma apresenta um acúmulo de materiais residuais, como resinas, argilas, carvões ou outros aditivos degradados no processo de vazamento. Para preservar a qualidade da peça produzida, deve-se diluir a areia contaminada com areia nova. O resultado dessa diluição é um volume de areia de desmoldagem excedente e, conseqüentemente o descarte da parcela dispensável (ABIFA, 2015).

Figura 1 – Vazamento do metal líquido no molde de areia verde.



FONTE: Todmetais¹

3.2.1 Areia de fundição

O método mais empregado para a fabricação de peças a partir de metais fundidos é o de moldagem em areia. A sua liderança frente a outros processos no mercado deve-se a sua simplicidade tecnológica, baixo custo e facilidade na recuperação da areia após o processo (CASOTTI *et al.*,2011).

¹ http://www.todmetais.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=11 – Acesso em 30 maio, 2017

Além dessas vantagens, a moldagem em areia, dispensa a necessidade da pintura do molde, onde o processo de vazamento é realizado imediatamente tornando-o mais econômico e, por fim, não necessita de mão de obra para a desagregação da areia aglomerada. Entretanto, a desvantagem do processo pode ser atribuída à limitação do tamanho das peças a serem fabricadas em consequência do tamanho das caixas e dos tipos de máquinas de moldagem (D'ELBOUX, 2000).

Esse método, também designado como processo de moldagem, baseia-se na construção do molde ao assentar o modelo na areia, para que se obtenha o formato pretendido da peça. Dentre os variados métodos de construção de molde utilizados no processo de fundição, estão as moldagens em areia verde, areia seca, areia-cimento, areia de macho e em casca, sendo o último também conhecido como *shellmolding* (BALDAM e VIEIRA, 2013).

A areia de fundição é geralmente composta por areia-base, com características de um agregado fino, misturado com ligantes ou aglomerantes para garantir a manutenção da forma dos machos durante o processo. Segundo Mariotto (1986), as areia-base mais utilizadas no processo de fundição são as de sílica (SiO_2), seguida pelas de cromita (Cr_2O_3), as de zirconita (ZrO_2) e as de olivina.

As areias-base, de acordo com BALDAM e VIEIRA (2013) devem apresentar as seguintes propriedades:

- a) Pureza: a areia deve atingir o maior índice de pureza possível, já que algumas das impurezas contribuem para o decaimento do ponto de fusão podendo gerar reatividade com o metal.
- b) Presença de orgânicos: a presença de matérias orgânicas na composição da areia pode aumentar o consumo de ligantes e liberar gases dispensáveis.
- c) Forma dos grãos: os grãos podem ser arredondados, subangulares e angulares. Os grãos arredondados consomem menor quantidade de ligantes devido a sua menor superfície.
- d) Granulometria: de acordo com o método padronizado pela *American Foundry Society* para determinar a granulometria da areia que consiste no peneiramento em série o valor empregado para separar os grãos utilizáveis é de 20 micrômetros.
- e) Densidade e ponto de fusão: como cada areia-base apresenta um ponto de fusão e densidade característicos, é necessário que a escolha seja baseada no metal que será modelado.

- f) Expansibilidade: é necessário que a areia apresente menor expansibilidade possível, pois essa propriedade está relacionada com o potencial de defeitos provenientes da expansão.

3.2.1.1 Areia verde

A “Areia verde” é denominada toda areia aglomerada com argila umedecida que não sofre processo de secagem antes do vazamento do metal. É, essencialmente, composta por areia de sílica de alta qualidade (85-95%), argila de bentonita (4-10%), aditivos carbonáceos (2-10%) e água (2-5%) (SIDDIQUE, 2008).

A areia composta por areia, argila e água só exprime um estado ótimo de organização quando os grãos são envolvidos por lamelas de água. Em virtude do caráter dipolar, as moléculas de água alinham-se rigidamente em camadas sobre a partícula sólida. Devido às forças externas as lamelas formadas adjacientemente deslizam entre si. Esse fenômeno justifica a formação dos filmes argilosos formados em torno dos grãos da areia (BALDAM e VIEIRA, 2014).

Segundo os mesmos autores, a qualidade dos moldes produzidos pela areia verde pode ser garantida se apresentarem as seguintes propriedades:

- a) Escoabilidade: essa propriedade está relacionada com a capacidade que o grão tem de escorregarem uns em relação aos outros a fim de alcançar um grau de compactação uniforme. A relação entre a escoabilidade e a densidade do material é referente a quantidade de energia que se gastará para atingir a densidade pretendida, ou seja, quanto maior a escoabilidade menor será a energia necessária para alcançar a densidade do modelo final;
- b) Consistência: eficiência da massa de areia ao preservar a sua forma após compactada;
- c) Plasticidade: capacidade da areia verde compactada de deformar-se plasticamente quando necessário. A avaliação dessa propriedade está intrínseca no teste citado no item anterior, no qual analisa a deformação a verde.

Dessa forma, é possível fabricar moldes invariavelmente compactados garantindo a eficiência da reprodução fiel das peças moldadas.

3.3 AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO (ADF)

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), são gerados no Brasil um volume anual de aproximadamente 97 milhões de toneladas de resíduos industriais. Considerando que a estimativa de descarte da areia de fundição provenientes do processo é de 2 milhões de toneladas, sendo possível prever um percentual em torno de 2,06% do total do país (PENKAITIS, 2012).

Em virtude da perda do volume quando entra em contato com metal líquido, da descaracterização do composto de moldagem e perda das características dos componentes da mistura, é necessário fazer a reposição da areia para garantir a confiabilidade da reprodução da peça. Conseqüentemente, a areia que não apresenta o potencial de reuso é descartada (BINA, 2002).

Dessa forma, as areias de fundição remanescentes do potencial de reutilização são consideradas como resíduos sólidos que necessitam ser encaminhadas para descarte.

Os resíduos sólidos, de acordo com a NBR 10004 “Resíduos sólidos – Classificação” (ABNT, 2004), estão fracionados nas seguintes classes:

a) Resíduos classe I – Perigosos

Os resíduos compreendidos nessa classe são aqueles que apresentam por meio da característica de suas propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas como toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade, riscos à saúde e ao meio ambiente se descartados de forma incorreta.

b) Resíduos classe II – Não perigosos

São aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos perigosos e se dividem em:

Resíduos classe II A – Não inertes

Quaisquer resíduos que não se encaixam na classificação de resíduos da classe I. Podem ter propriedade como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

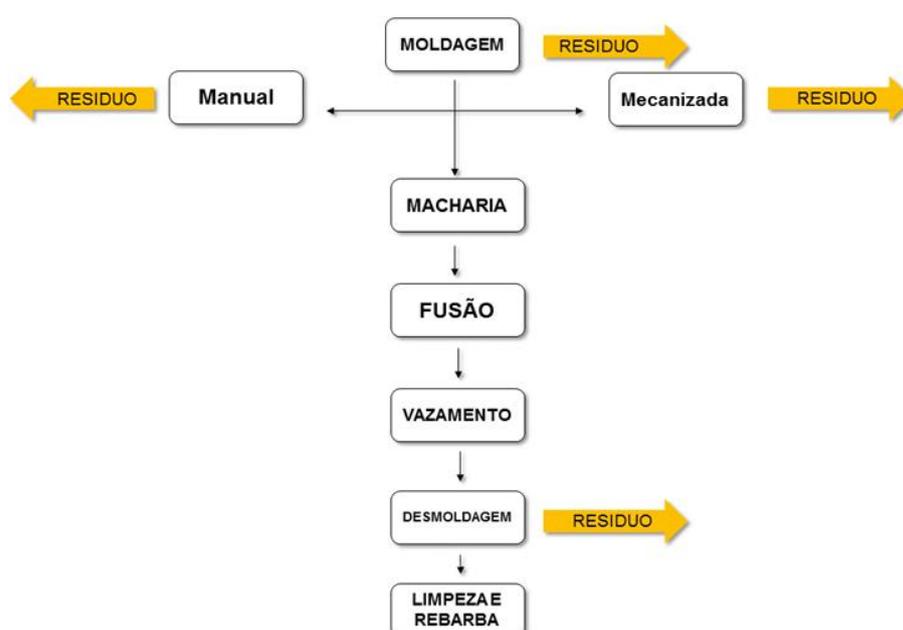
Resíduos classe II B – Inertes

Aqueles que quando amostrados segundo a ABNT NBR 10007 – Amostragem de resíduos sólidos - e em contato dinâmico e estático com água destilada, à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

A areia de fundição remanescente da produção de peças fundidas pode ser classificada, de acordo com o anexo H contido na NBR 10004, como Classe II – Não perigoso (ABNT, 2004). Mesmo que sua classificação dependa exclusivamente do processo de moldagem, PENKAITIS (2012) afirma que no geral as areias de fundição são classificadas como não perigoso e não inerte (Classe II A).

Os tipos de resíduos gerados no processo de moldagem estão diretamente relacionados com o mecanismo escolhido para realizá-lo, ou seja, o tipo de moldes e machos, bem como a origem do metal fundido. É possível observar na Figura 2 as etapas do processo de geração da ADF.

Figura 2 – Geração de resíduos do processo de moldagem



FONTE: Adaptado OLIVEIRA, (1996)

Os resíduos gerados podem ser caracterizados em um conjunto de areia usada, resíduos de limpeza, resíduos de escória, pó e resíduos diversos. Na maioria das fundições, é realizado o aproveitamento de uma determinada porção da areia utilizada, como por exemplo, a areia verde, por ser reutilizada diversas vezes, porém a cada reuso formam-se acúmulos de finos fazendo-se necessário a retirada de areia do sistema para manter as propriedades da areia do molde intactas (OLIVEIRA, 1996).

A ADF é separada e levada a um aterro industrial, junto com os machos não aproveitados. Esse resíduo representa 66 a 88% do total gerado pelo processo. Já a escória caracteriza-se como uma massa vidrosa, relativamente inerte e com uma estrutura química complexa. Por ser um componente utilizado para facilitar a retirada do forno, é composta basicamente por óxidos metálicos do processo de fusão, refratários fundidos, areia e cinzas. O pó é oriundo do processo de fusão, fumos recoletados pelas câmaras e por lavadores de gases (GUIDES TO POLLUTION PREVENTION, 1992).

3.4 RECICLAGEM DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO

A areia descartada de fundição, devido ao seu baixo custo, alta disponibilidade e desempenho eficaz, tem sido usada como subproduto na substituição de materiais convencionais. As areias verdes provenientes de fundições ferrosas e de alumínio são as mais comuns para reutilização (ALVES, 2012).

Segundo PENKAITIS (2012), o reaproveitamento desse resíduo é uma alternativa que gera, além do ganho ambiental, ganhos econômicos, relacionados à redução de despesas com a destinação do resíduo.

A reciclagem é o processo pelo qual os componentes de um determinado corpo ou objeto são transformados em matéria prima para a confecção de outro corpo ou objeto, semelhante ou não ao anterior (TEIXEIRA, 1999). No contexto das areias descartadas de fundição, a Comissão de Meio Ambiente da ABIFA (1999) subdivide os processos de reciclagem em: recuperação, regeneração e reutilização.

A recuperação e regeneração são processos de reciclagem interna da areia descartada de fundição, enquanto que a reutilização corresponde a reciclagem externa.

A recuperação consiste em reintroduzir no processo produtivo original as areias que já foram utilizadas no vazamento de peças. Antes da reintrodução é realizada a retirada de resíduos grosseiros (torrões e materiais metálicos) e o resfriamento, devido à presença de materiais alterados pelo contato imediato com o metal fundido como por exemplo, argilas e carvões.

A regeneração submete as areias descartadas de fundição à ação mecânica (atrito) e/ou ação do aumento da temperatura (calcinação), com o objetivo de limpar a superfície dos grãos da areia-base para que as características sejam restituídas da forma mais semelhante possível às das areias novas. Assim, é permitida a introdução das areias regeneradas no processo de moldagem.

Por fim, a reutilização consiste no uso alternativo das areias descartadas de fundição como agregado fino em aplicações externas à indústria, como por exemplo, na indústria da construção civil, na confecção de artefatos de concreto, em pavimentação asfálticas, entre outras. Nesse processo, não são adotadas técnicas de tratamento e/ou descontaminação para as areias, ou seja, são reutilizadas nas condições em que foram descartadas.

No estudo conduzido por AVRELLA *et al.* (2015), foi avaliado o desempenho de resistência à compressão aos 28 dias de prismas de blocos de concreto com adição parcial de 10%, 20% e 30% de areia de fundição como agregado fino. Os resultados mostraram que as adições com 10% e 20% apresentaram resistência superior à argamassa, resultando no rompimento da argamassa. Entretanto, a adição de 10% apresentou desempenho superior dentre as outras adições. Por fim, concluiu-se que a resistência característica do concreto à compressão (f_{bk}) do bloco com 10% de adição é inferior ao do bloco de referência, porém apresenta superioridade quando analisado no ensaio de prisma.

Ghislene (2014) também avaliou o desempenho de blocos de concreto com adição de 10%, 20% e 30% de areia de fundição. Os ensaios realizados foram: absorção de água e resistência à compressão. Com os resultados do ensaio de absorção, foi possível concluir que a mistura com 10% de adição apresentou a menor taxa de absorção, conferindo-lhe um resultado satisfatório, pois assume-se que quanto menor a taxa melhor será a aderência do bloco. O mesmo aconteceu com a resistência à compressão na mistura de 10%, pois os resultados sobressaíram-se em

relação aos demais. A resistência à compressão aos 28 dias foi de 8,24 MPa superior à projetada de 6 MPa, mostrando que quando se tem uma quantidade reduzida de material existe ganho de resistência.

3.5 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um tipo de estrutura onde as paredes são constituídas por unidades de alvenaria unidas por juntas de argamassa e apresentam capacidade de suportar outras cargas além de seu peso próprio (PRUDÊNCIO; OLIVEIRA; BEDIN, 2002). São utilizadas peças industrializadas cujas dimensões e peso viabilizam o seu manuseio (KALIL; LEGGERINI, 2007). O conceito atribuído à utilização de alvenaria estrutural é a transmissão de ações através de tensões de compressão (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Um dos materiais que compõem a alvenaria estrutural são os blocos de concreto, a argamassa e o graute (RAUBER, 2005). A combinação dos componentes forma o elemento, que por sua vez define o edifício.

A NBR 10837 *“Cálculo de alvenaria estrutural e blocos vazados de concreto”* (ABNT, 1998), tem como objetivo fixar as condições exigíveis no projeto e execução de obras em alvenaria estrutural exclusivamente de blocos vazados de concreto, onde a alvenaria estrutural pode ser classificada em três tipos:

- Alvenaria estrutural não armada: construída com blocos vazados de concreto, assentados com argamassa, e que contém armaduras com finalidade construtiva ou de amarração não consideradas na absorção dos esforços calculados.
- Alvenaria estrutural armada: construída com blocos vazados de concreto, assentados com argamassa, na qual certas cavidades são preenchidas continuamente com graute, contendo armaduras envolvidas o suficiente para absorver os esforços calculados.

- Alvenaria parcialmente armada: algumas paredes são construídas, segundo as recomendações da alvenaria armada, com blocos vazados de concreto, assentados com argamassa, e que contém armaduras localizadas em algumas cavidades preenchidas com graute, contendo armaduras envolvidas o suficiente para absorver os esforços calculados.

A alvenaria estrutural apresenta uma série de vantagens, dentre elas a redução de custos devido à simplificação das técnicas de execução, maior rapidez de execução e menor diversidade de materiais empregados (RAMALHO; CORREA, 2003). Outra vantagem verificada é a melhoria da produtividade obtida de dados de pesquisas. O prazo de uma obra em alvenaria estrutural pode ser até duas vezes menor que o prazo da obra em concreto armado (HOFFMANN *et al.*, 2012).

3.5.1 Alvenaria Estrutural no Brasil

No Brasil, a alvenaria estrutural só foi implantada em 1966 quando foram construídos prédios de quatro pavimentos em São Paulo, no conjunto habitacional “Centro Parque de Lapa” (RAUBER, 2005). Nos anos seguintes, o sistema construtivo foi pouco utilizado e visto com preconceito devido a predominância do uso de concreto armado por parte de construtores e projetistas, além da falta de abordagem nos cursos de formação nas universidades (ACCETTI, 1998).

Foi realizado em dezembro de 1977 pelo Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON) um colóquio sobre produção de blocos, controle da qualidade, normalização, processos construtivos, métodos de dimensionamento, entre outros tópicos. Reuniu-se os principais projetistas, calculistas, fabricantes de blocos e construtoras (SÁNCHEZ, 1994).

Em virtude do grande potencial de redução de custos, diversas construtoras e fabricantes de blocos investiram em tecnologias para acentuar suas vantagens. Em consequência disso, a alvenaria estrutural atingiu o auge no Brasil na década de 80 ao ser disseminada por meio da construção de conjuntos habitacionais (KALIL; LEGGERINI, 2007).

3.6 BLOCO DE CONCRETO

A utilização de blocos de concreto, na alvenaria estrutural e na alvenaria de vedação, foi normatizada no Brasil pela ABNT NBR 6136 “Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural” versão corrigida de 2016 em substituição à ABNT NBR 7173 “Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural”, de 1982 que foi cancelada (DO NASCIMENTO *et al.* 2016).

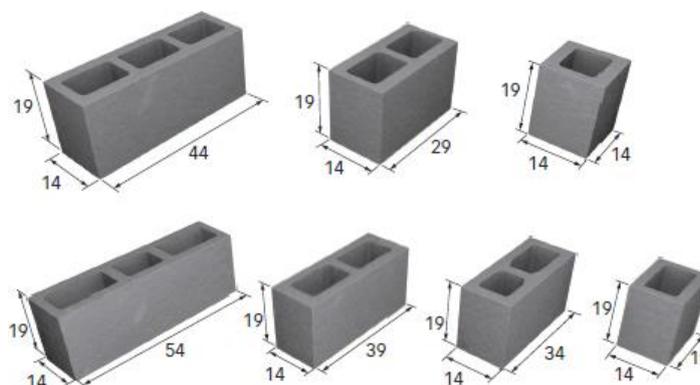
Os blocos de concreto devem atender aos requisitos mínimos de resistência à compressão axial, sendo 6 MPa para paredes externas sem revestimento e 4,5 MPa para paredes internas e externas com revestimento (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A NBR 6136:2016 define que o bloco vazado de concreto deve possuir área líquida igual ou inferior a 75% da área bruta. A área bruta condiz com a área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios enquanto que a área líquida corresponde à área da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas médias dos vazios.

Ainda segundo a NBR6136:2016, os blocos são divididos em classes de acordo com o seu uso. As classificações são: Classe A – função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo; Classe B – função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo; Classe C – função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Existe uma variação de bloco de concreto quanto às suas dimensões, para garantir que possíveis problemas construtivos na fase de projetos sejam evitados. É possível observar na Figura 3 os tipos mais comuns.

Figura 3 - Tipos de blocos de concreto e suas dimensões



FONTE: Téchnne (2011)²

3.6.1 Composição do bloco de concreto

Os materiais utilizados na fabricação de blocos de concreto são: cimento Portland, agregados graúdo e miúdo, e água. De acordo com determinações específicas é possível dosar o concreto com adição de outros componentes como minerais, pigmentos e aditivos desde que os mesmos não causem efeitos nocivos (SALVADOR, 2007).

O **cimento Portland** é definido como um aglomerante hidráulico artificial gerado pela moagem de clínquer Portland constituído majoritariamente por silicatos e aluminatos de cálcio hidráulicos, obtidos por queima até o alcance da fusão parcial e mistura homogênea composta basicamente por calcário e argila (YAZIGI, 2009).

Segundo Fernandes (2012) no Brasil são produzidos cerca de 10 tipos de cimento para uso em geral, porém dependendo de suas características alguns tornam-se mais indicados para aplicações específicas. Na produção de componentes pré-moldados de concreto, são indicados os cimentos do tipo II e, o mais utilizado, cimento tipo V de alta resistência inicial (ARI). Eles tem a característica de atingir altas resistências nos primeiros dias de aplicação.

² Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/176/artigo285900-2.aspx> - Acesso 02 Jun, 2017

Os **agregados** podem ser definidos como materiais granulosos e inertes que entram na composição das argamassas e concretos. Representam significativa importância na produção de blocos de concreto, pois interferem na aderência com a pasta de cimento, modificando a homogeneidade e resistência do concreto (BASTOS, 2006). É importante o reconhecimento da classificação dos agregados quanto à sua granulometria, para garantir um bom arranjo no concreto, com menores índices de vazios, e melhor desempenho de suas propriedades físicas e mecânicas (SALVADOR, 2007). São classificados quanto à origem e tamanho de partículas.

Com relação à origem eles podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são aqueles encontrados brutos na natureza como forma de agregado, como por exemplo a areia de mina, areia de rio, seixo rolado (cascalhos ou pedregulhos) entre outros (YAZIGI, 2009). Os artificiais são aqueles que passaram por algum processo para obter as características finais, como as argilas expandidas; rejeitos urbanos e industriais, concreto reciclado, britas originárias da trituração de rochas dentre outros (BASTOS, 2006).

Quando ao tamanho os agregados podem ser classificados em miúdos e graúdos. O agregado miúdo é a areia natural quartzosa ou artificial, de diâmetro igual ou inferior a 4,8 mm enquanto que o agregado graúdo é o pedregulho natural ou a pedra britada de diâmetro maiores que 4,8 mm. Esse diâmetro corresponde a máxima abertura da malha da peneira. É necessário o conhecimento das seguintes definições:

- filler: material cuja dimensão corresponde a 0,075 mm;
- areia natural: material em estado natural com diâmetro menor que 4,8 mm;
- areia artificial: material obtido por fragmentação de rocha com diâmetro menos que 4,8 mm.
- seixo rolado: material encontrado fragmentado na natureza com diâmetro maior que 4,8 mm.
- brita: material originado pela trituração de rochas com diâmetro maior que 4,8 mm.

Classificam-se as britas, por questões comerciais, em:

- brita 0 ou pedrisco: de 4,8 mm a 9,5 mm;
- brita 1: de 9,5 mm a 19 mm;
- brita 2: de 19 mm a 38 mm;
- brita 3: de 38 mm a 76 mm;
- pedra-de-mão: maior que 76 mm;

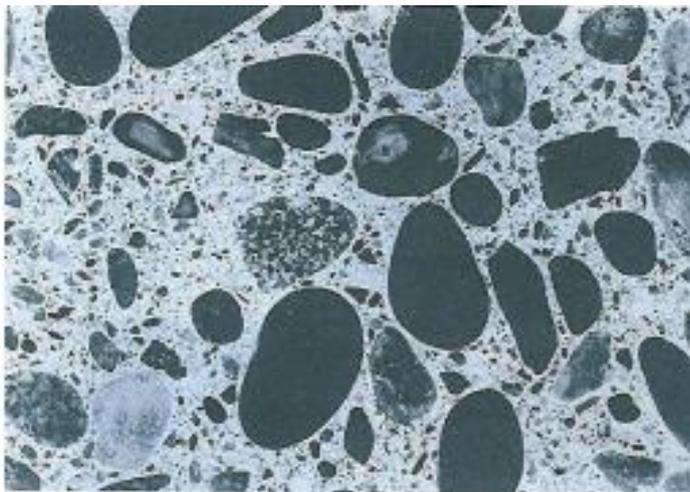
A **água** nessa mistura, contribui para que ocorra as reações químicas do cimento (hidratação) de modo a garantir as propriedades de resistência e durabilidade do concreto (BASTOS, 2006).

Nessa mistura, podem ser adicionados **aditivos** que quando adicionados são responsáveis pelo aprimoramento de certas propriedades como: trabalhabilidade, tempo de cura, incorporações de ar, dentre outros. Os aditivos incorporadores de ar, por exemplo, são empregados na produção de blocos de concreto para melhorar a coesão da mistura e a textura superficial dos blocos, além de reduzir a energia requisitada para a sua compactação (PRUDÊNCIO, 2002).

3.6.1.1 Macroestrutura do concreto

A resultante da mistura de todos esses componentes é o concreto, material poroso, com uma estrutura bastante heterogênea e complexa (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Na macroestrutura (Figura 4) é possível observar a pasta do cimento endurecida que envolve as partículas de agregado graúdo (brita) e miúdo (areias). A fase do agregado está relacionado com as seguintes propriedades do concreto: Massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional e os fatores que influenciam essa fase são a porosidade, o formato e a textura (SILVA, 2005).

Figura 4 – Macroestrutura do concreto



FONTE: MEHTA e MONTEIRO, 1994

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (1994), cada uma das fases do concreto é de natureza multifásica, ou seja, cada partícula de agregado compreende também outras fases devido à presença de minerais, fissuras e vazios. A matriz da pasta cimento apresenta distribuição heterogênea com a presença de poros e microfissuras.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para o estudo foram:

- Areia natural de rio (ANR);
- Pó de pedra;
- Pedrisco;
- Areia descartada de fundição (ADF);
- Cimento Portland (CP V- ARI);
- Água;
- Argamassa.

4.1.1 Areia

A areia utilizada pela empresa foi proveniente do porto Areial localizado em Porto Epitácio – SP às margens do Rio Paraná. Esta areia é de caráter média/grossa, porém foram realizados ensaios de caracterização para determinar sua granulometria.

4.1.2 Pó de pedra

O pó de pedra foi provindo da pedreira do grupo Siqueira, unidade localizada em Mandaguari – PR.

4.1.3 Pedrisco

O pedrisco com diâmetro de 3/8” também foi provindo da pedreira Siqueira.

4.1.4 Areia descartada de fundição (ADF)

A areia descartada de fundição (Figura 5) foi fornecida pela empresa Multimetal localizada em Cambé – PR. Sua geração ocorre a partir do processo de fundição de peças de alumínio de natureza majoritariamente automobilística. São descartadas em aterro, aproximadamente, 40 toneladas de ADF por mês.

Essa areia é composta por: areia sílica, carvão, bentonita (argila ativa) e água. A bentonita é responsável por 9% da composição total.

Figura 5 – Areia descartada de fundição (ADF)



FONTE: Elaborado pela Autora.

Para a viabilização da pesquisa, foi necessário submeter o resíduo à ensaios de lixiviação e solubilização para garantir que o mesmo não apresentasse concentrações de substâncias perigosas de modo a não extrapolar o limite imposto pela NBR 10004 “Resíduos Sólidos – Classificação” (ABNT, 2004).

De acordo com os laudos emitidos pela empresa encarregada dos ensaios, o resíduo foi classificado como Classe II A – Não inerte.

4.1.4 Cimento Portland

Foi utilizado o cimento Portland de Alta Resistência Inicial CP V – ARI fabricado pela Votorantim. De acordo com o fabricante, a alta resistência é atingida devido a dosagem diferenciada de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, o mesmo adquira resistências elevadas, com maior velocidade.

4.1.5 Água

A água usada na mistura do concreto é originária da rede de abastecimento da Sanepar – Sabáudia (PR). É estimada a utilização de 6,8% de água para uma “massada” de blocos de concreto para um total de 82 blocos vazados de concreto.

4.1.6 Argamassa

A argamassa utilizada para o ensaio de resistência de compressão do prisma foi provida pela Hobimix localizada em Londrina – PR.

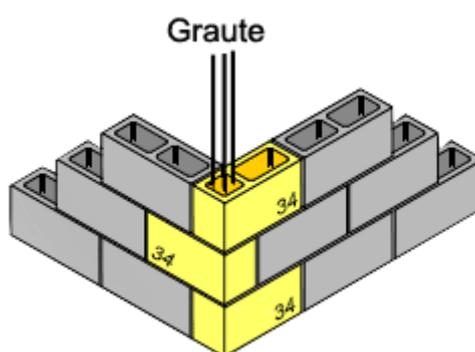
4.2 MÉTODOS

Para alcançar o objetivo estabelecido neste trabalho, que é analisar a viabilidade técnica da confecção de blocos de concreto estrutural com adição de ADF, foi necessário estabelecer uma parceria com uma empresa fabricante de blocos de concreto estrutural do setor da construção civil. Os blocos produzidos pela empresa serviram de referência de modo a tornar possível a comparação com os blocos de areia de fundição. Nesse contexto, foi realizada a parceria com a BBL engenharia, localizada em Sabáudia – PR.

Após reunião com a direção ficou estabelecido que seriam produzidos blocos de concreto estrutural com resistência de 4,5 MPa, classe de resistência com uso restrito às paredes de revestimento não expostas às intempéries.

Devido ao cronograma da empresa, os blocos moldados foram da família 15 x 40 com largura 140 mm, altura 190 mm e comprimento 340 mm. De acordo com a NBR 6136 “*Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos*”, esse tipo de bloco é designado como Amarração em “L”. Ele desempenha a função de unir paredes sem interferir na modulação dos blocos como é possível observar na Figura 6.

Figura 6 – Representação do uso do bloco de amarração de parede em “L”.



Fonte: Repositório digital da UFRGS³

Para produção dos blocos foram estudados dois traços:

- I) Traço de bloco de concreto comumente produzido pela empresa para servir de referência;
- II) Traço do bloco de concreto com adição de ADF.

O método estabelecido consistiu em quatro etapas:

- Amostragem e caracterização dos agregados miúdos e graúdo;

³ Disponível em: http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/blocos_concreto.php
Acesso em: 30 maio, 2017.

- Estudo dos traços dos blocos de concreto;
- Ensaios de caracterização do bloco de concreto: análise dimensional, absorção, resistência à compressão axial e resistência à compressão do prisma;
- Análise da macroestrutura.

4.2.1 Coleta e caracterização dos agregados miúdos e graúdos

A coleta dos agregados iniciou-se com a ADF da empresa Multimetal. A geração do resíduo é de, aproximadamente, 40 toneladas ao mês e foi fornecido cerca de 400 kg para a fabricação do bloco de concreto. A areia estava acondicionada em dois tambores de metal para que fosse possível a realização de seu transporte.

Na empresa BBL Engenharia, foi realizada a coleta dos agregados areia natural de rio, pedrisco e pó de pedra. Esses agregados encontravam-se dispostos em suas respectivas baias na área externa da fábrica. Foram determinados diferentes pontos da pilha de cada agregado para que a coleta ocorresse de forma homogênea.

Todas as amostras foram colocadas em sacos plásticos transparentes (Figura 7) e levados para o laboratório de Engenharia Civil da UniFil para a realização do ensaio de caracterização dos agregados.

Figura 7 - Amostra de areia grossa, pedrisco, pó de pedra e ADF



Fonte: Elaborado pela Autora.

A caracterização dos agregados foi realizada de acordo com os seguintes ensaios e suas respectivas normas, demonstrados no Quadro 2:

Quadro 2 – Ensaio e respectivas normas para os agregados miúdos e graúdo

Ensaio	Norma
Massa unitária	NM45: 2006 “Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios”
Massa específica ⁴	NBR 9775:2011 “Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio” NM 53:2009 “Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”
Pulverulência	NM 46:2003 “Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem”
Granulometria	NM 248:2003 – “Agregados – Determinação da composição granulométrica”

FONTE: Elaborado pela Autora.

4.2.1.1 Massa Unitária

A massa unitária de um agregado é a relação entre a sua massa contida em um recipiente de massa conhecida e o volume do mesmo.

Para ambos os agregados, miúdos e graúdos, utilizou-se o método C especificado pela norma, relacionado ao material no estado solto. O material foi disposto no recipiente de forma homogênea e sem compactação.

Foram utilizados três cilindros de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura para os agregados miúdos e três cilindros de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura para o agregado graúdo.

Dessa forma, a massa unitária de cada agregado foi obtida a partir da média aritmética das três amostras calculadas com a Equação 1.

⁴ Para o cálculo de massa específica da ADF, foi necessário o volume de 230 mL de água para a realização do ensaio.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

Onde,

ρ_{ap} = massa unitária do agregado (kg/m³);

m_{ar} = massa do recipiente mais o agregado (kg);

m_r = massa do recipiente vazio (kg);

V = volume do recipiente (m³).

4.2.1.2 Massa específica

Primeiramente, foi pesada uma amostra de 500 gramas de cada agregado, previamente seca em estufa até ser obtida a constância de massa. Em seguida, foi colocado no frasco de *Chapman* um volume de 200 mL de água potável para então introduzir a amostra de agregado. O frasco foi agitado para a eliminação de bolhas de ar e deixado em repouso em superfície plana por 1 minuto para posterior leitura do volume. O procedimento foi repetido duas vezes para cada agregado.

O resultado foi calculado a partir da média aritmética da Equação 2.

$$\mu = \left(\frac{500}{L-200} \right) \quad (2)$$

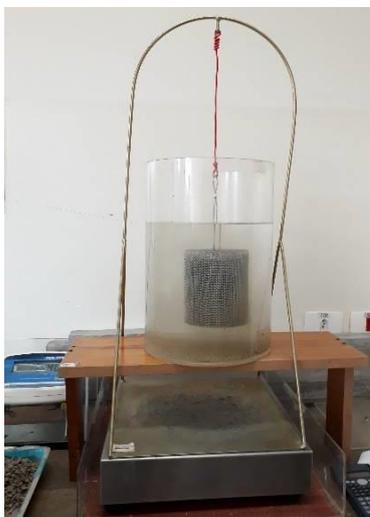
Onde,

μ = Massa específica (g/cm³);

L = Leitura do volume após a inserção do agregado no frasco (cm³).

Na determinação da massa específica do agregado graúdo foi utilizado um conjunto de balança, cesto de arame e suporte e recipiente com água como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Conjunto de materiais para a determinação da massa específica agregado graúdo



Fonte: Elaborado pela Autora.

Assim, o ensaio consistiu em obter a massa do agregado em seu estado seco e em estado submerso.

Então, a massa específica do pedrisco foi obtida de acordo com a Equação 3.

$$d_a = \frac{A}{A-B} \quad (3)$$

d_a = Massa específica (g/cm³);

A = Agregado no estado seco (g);

B = Agregado no estado submerso (g).

4.2.1.3 Pulverulência

Materiais pulverulentos são partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, incluindo materiais solúveis em água, presentes nos agregados. Assim, um agregado com alto teor de material pulverulento, em geral, prejudica a aderência e sua resistência mecânica (FERNANDES, 2012).

Foi realizado o ensaio para a determinação de material pulverulento somente para a areia descartada de fundição e para o pó de pedra. O procedimento utilizado foi o “A” (lavagem com água) preconizado na norma NM 46:2003

As amostras secas retiradas da estufa, foram divididas e pesadas de acordo com a norma. As amostras de areia descartada de fundição e a de pó de pedra continham 100 gramas e 500 gramas, respectivamente.

Em uma peneira de malha de abertura de 0,075 mm, ocorreu a lavagem das amostras em água corrente (Figura 9) até que mesma ficasse transparente, garantindo a passagem de todo o material menor pela abertura da malha da peneira. Por fim, essas amostras foram levadas à estufa de modo a serem pesadas novamente para a obtenção da massa final.

Figura 9 - Processo de lavagem do pó de pedra para determinação de material pulverulento.



Fonte: Elaborado pela Autora

O resultado final foi calculado a partir da Equação 4

$$M_p = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde,

M_p = Material pulverulento (%);

M_1 = Amostra antes da lavagem (g);

M_2 = Amostra após secagem na estufa (g).

4.2.1.4 Granulometria

O ensaio de granulometria tem como objetivo determinar a característica física do agregado baseando-se na sua distribuição granulométrica, ou seja, no percentual do peso retido em cada faixa especificada com relação a massa seca total.

Para os agregados miúdos (ANR, pó de pedra e ADF) foi utilizada uma amostra de 1 kg. Como preconizado na norma, foi utilizado o conjunto de peneiras com tela de tecido metálico com as seguintes aberturas: 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600µm, 300µm, 150µm e o fundo. Para o peneiramento do agregado graúdo, pedrisco, foram adicionadas ao conjunto as peneiras 9,50 mm e 6,30mm. O tempo de agitação mecânica foi de 8 minutos e em seguida foi realizada a pesagem da amostra retida em cada peneira.

Após a realização do ensaio, foi calculada a Dimensão Máxima Característica (D.M.C), grandeza correspondente à abertura nominal da malha da peneira em que o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Foi calculado também o módulo de finura de acordo com a Equação 5:

$$M.F = \sum \frac{\% \text{ Retida Acumulada}}{100} \quad (5)$$

Para a análise da curva granulométrica de cada agregado foram considerados os limites determinados pela NBR 7211 “Agregados para concreto – Especificação” (ABNT, 2009). Para os agregados miúdos foram utilizados os limites expressos no Quadro 3 e na análise de agregado graúdo a faixa expressa no Quadro 4.

Quadro 3 – Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneiras	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: Adaptado ABNT NBR 7211:2009

Quadro 4 - Limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo utilizado para o pedrisco

Peneira com abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada
	Zona granulométrica d/D*
	4,75/12,5
12,5 mm	0 - 5
9,5 mm	2 - 15
6,3 mm	40 - 65
4,75 mm	80 - 100
2,36 mm	95 - 100
*d/D Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo	

Fonte: Adaptado ABNT NBR 7211:2009

A partir do valor obtido para o módulo de finura, foi possível classificar os agregados miúdos de acordo com a ABNT NBR 7211:1983 utilizando o Quadro 5.

Quadro 5 - Classificação do agregado miúdo quanto ao módulo de finura.

Limites	Módulo de finura
Muito fina	1,35 < MF < 2,25
Fina	1,71 < MF < 2,85
Média	2,11 < MF < 3,38
Grossa	2,71 < MF < 4,02

FONTE: Adaptado ABNT NBR 7211:1983.

4.2.2 Traço

O traço do bloco de concreto, segundo Fernandes (2012) significa que de acordo com as características granulométricas (tamanhos e distribuição dos grãos de cada material) existe uma quantidade balanceada de cada um de modo a proporcionar melhor arranjo entre eles com menor índice de vazios na mistura.

O método utilizado pela empresa colaboradora, para a determinação do traço do bloco de concreto, baseia-se na composição da proporção dos agregados miúdos e graúdos e na montagem de uma granulometria ponderada de maneira que a mistura resultante se enquadra nos limites de granulometria pré-determinados pela Besser Company expressa na Tabela 1 e também por uma faixa granulométrica proposta por Fernandes (2012) na Tabela 2.

Tabela 1 – Faixa granulométrica proposta pela Besser Company

Peneiras (mm)	% Retida Acumulada
9,50	0,0
6,30	12,0
4,80	25,0
2,40	40,0
1,20	55,0
0,60	70,0
0,30	85,0
0,15	95,0
Fundo	100,0

Fonte: Besser Company

Tabela 2 – Faixa granulométrica proposta pelo autor Fernandes

Peneiras (mm)	% Retida acumulada	
	Superior	Inferior
9,50	10,0	0,0
6,30	21,0	7,0
4,80	34,0	15,0
2,40	52,0	29,0
1,20	68,0	45,0
0,60	80,0	61,0
0,30	91,0	75,0
0,15	97,0	86,0
Fundo	100,0	100,0

Fonte: Fernandes (2012)

Dessa forma, foi estabelecido primeiramente o traço para o bloco de concreto de referência que serviu como base para definir a substituição de parte da areia grossa pela areia descartada de fundição.

4.2.3 Ensaios de caracterização do bloco de concreto

Para a realização dos ensaios foi necessário, primeiramente, escolher por amostragem um número de blocos determinado de acordo com o total produzido no lote. Os requisitos estão contidos no Quadro 6 extraído da NBR 6136 “*Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos*” (ABNT, 2010).

Como a quantidade produzida para cada traço foi inferior a 5.000 blocos e o valor do desvio padrão não era conhecido, foram separados, de cada traço, 6 blocos para análise dimensional e ensaio de resistência à compressão e 3 blocos para ensaio de absorção em água.

Quadro 6 – Tamanho da amostra

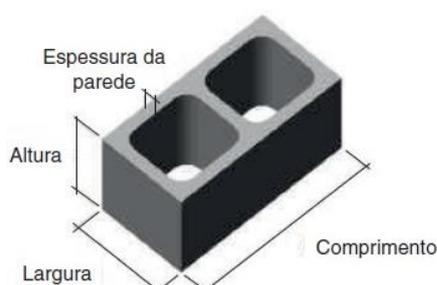
Nº de blocos do lote	Nº de blocos da amostra		Nº mínimo de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial		Nº de blocos para ensaios de absorção e área líquida
	Prova	Contraprova	Critério estabelecido para valor não conhecido do desvio padrão	Critério estabelecido para valor conhecido do desvio padrão	
Até 5.000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5.001 a 10.000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
Acima de 10.000	9 ou 13	9 ou 13	10	6	3

Fonte: Adaptado ABNT NBR 6136:2016

4.2.3.1 Análise dimensional

Para a análise dimensional foram realizadas medidas da altura, largura, comprimento (Figura 10), espessura das paredes transversais e longitudinais e, por fim, as espessuras das paredes longitudinais e transversais e dimensão do menor furo (Figura 11).

Figura 10. Dimensões do bloco de concreto



Fonte: ABNTNBR 6136:2016

Figura 11 - Medição da parede transversal e do furo do bloco de concreto



FONTE: Elaborado pela Autora.

4.2.3.2 Absorção de água

Para a execução desse ensaio, primeiramente, foi realizada a pesagem dos blocos em estado natural e então, realizada a secagem dos blocos em estufa a $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas. Após esse período, pesou-se o bloco uma vez e depois em intervalos 2 horas até que fosse atingida a constância da massa.

Após essa etapa, os blocos foram resfriados naturalmente até a temperatura ambiente e imersos em água onde a segunda leitura de pesagem ocorreu após o período de 24 horas.

O valor da absorção para cada bloco, expresso em porcentagem, foi obtida pela Equação 6. O resultado final consistiu na média aritmética dos blocos utilizados para a realização do ensaio.

$$a = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (5)$$

Onde,

a = absorção total (%);

m_1 = massa do bloco seco em estufa $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ (g);

m_2 = massa do bloco saturado (g).

4.2.3.3 Resistência à compressão axial

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão dos blocos aos 7 e 28 dias de cura. O ensaio aos 7 dias foi realizado no laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário Filadélfia (UniFil) e aos 28 dias na empresa Tecblocos.

Neste ensaio é necessário que a superfície dos blocos esteja lisa para proporcionar uniformidade da distribuição da força exercida pelo equipamento. Como o ensaio foi realizado em locais distintos, foram empregados dois métodos para a preparação da superfície.

No ensaio aos 7 dias o método utilizado foi a de placas de neoprene (Figura 12 – a) na superfície do bloco, método utilizado em laboratório sem regulamentação para blocos. Já aos 28 dias, o preparo da superfície foi realizado por meio de retífica (Figura 13 – b), método previsto na NBR 12118:2013, que consiste em um polimento da peça para tornar a superfície plana. Os métodos estão relacionados com a rotina de cada laboratório.

Figura 12 - Métodos de preparação de superfície para o ensaio de resistência à compressão



b) Placas de neoprene



a) Máquina de retífica

Fonte: Elaborado pela Autora.

Em seguida, para a continuidade do ensaio foi necessário verificar o teor de umidade relativo das amostras. De acordo com a NBR 12118:2013 é necessário

obter a massa dos três blocos utilizados no ensaio de absorção de água (item 4.2.3.2). O teor de umidade é obtido de acordo com a Equação 7. Para atender ao especificado na NBR 12118, os blocos com resistência característica inferior a 8 MPa, devem apresentar teor de umidade relativa com $(25 \pm 15) \%$.

$$U_r = \left(\frac{m - m_1}{m_2 - m_1} \right) \times 100 \quad (7)$$

Onde,

U_r = teor de umidade relativa média dos blocos (%);

m = massa dos blocos, na condição do ensaio de absorção de água (g);

m_1 = massa do bloco seco em estufa, a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, conforme o ensaio de absorção de água (g);

m_2 = massa do bloco saturado, conforme o ensaio de absorção de água (g).

No ensaio de compressão foi imposta uma velocidade de elevação da tensão aplicada de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s, recomendada pela NBR 12118:2013.

A leitura da prensa é realizada em unidade de força e a tensão de ruptura de cada bloco é obtida de acordo com a Equação 8.

$$f_{bi} = \frac{F}{A} \quad (8)$$

Onde,

f_{bi} = Tensão (MPa);

F = Força dada pela prensa (N);

A = Área da superfície (mm^2).

Calculou-se então, a resistência característica do bloco ($f_{bk,est}$), método proposto pela NBR 6136:2016 quando o valor do desvio-padrão pela fábrica não é conhecido. O $f_{bk,est}$, é considerado por Fernandes (2012) um valor líquido onde são levados em conta os possíveis erros de produção.

Os valores calculados de tensão foram ordenados de forma crescente e nomeados de maneira que o f_{b1} , fosse o primeiro, f_{b2} o segundo e assim sucessivamente. Assim, os valores foram colocados na Equação 9 para a obtenção do $f_{bk, est}$.

$$f_{bk, est} = 2 \times \frac{f_{b1} + f_{b2} + \dots + f_{bi-1}}{i-1} \cdot f_{bi} \quad (9)$$

Considerando “n” o número de peças ensaiadas e o “i” presente na Equação 6, igual a $n/2$, pode-se concluir que $i = 3$. Assim, nota-se que o 2 que está multiplicando é anulado pelo denominador $i - 1$ e que o termo f_{bi-1} será o próprio f_{b2} . Dessa forma, os cálculos foram realizados com a forma reduzida da equação anterior, resultando a Equação 9.

$$f_{bk, est} = f_{b1} + f_{b2} - f_{b3} \quad (10)$$

4.2.3.4 Resistência à compressão do prisma

O ensaio de resistência à compressão do prisma foi realizado com o objetivo de testar o desempenho do conjunto bloco de concreto com adição de ADF e argamassa como um elemento da alvenaria estrutural.

Foram ensaiados prismas compostos por dois blocos, dessa forma, de acordo com a NBR 15961-2 “Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras” (ABNT, 2011). Para a montagem do prisma foram utilizados 12 blocos, totalizando seis corpos-de-prova (Figura 13).

A resistência da argamassa utilizada para o assentamento dos blocos foi de 4,0 MPa. A norma recomenda que a junta horizontal possua 10 mm.

Os prismas permaneceram em processo de cura durante 28 dias antes da realização do ensaio de resistência.

Figura 13 - Prismas



FONTE: Elaborado pela Autora.

O cálculo do $f_{pk,est}$ (valor de resistência característica do prisma) é feito de acordo com o seguinte método: Primeiramente, calcula-se o f_{pk1} da mesma forma com que foi calculado o $f_{bk,est}$ (item 4.2.3.3). Então, obtém-se o f_{pk2} de acordo com a Equação 11. O valor de \emptyset é especificado na NBR 15961:2011 com relação ao número de corpos-de-prova. Nesse caso, o valor é 0,89.

$$f_{pk2} = \emptyset \times f_{pk1} \quad (11)$$

Logo, é obtido o valor de f_{pk3} , que é o maior entre f_{pk1} e f_{pk2} . Em seguida, é calculado o f_{pk4} com a Equação 12.

$$f_{pk4} = 0,85 \times f_{pm} \quad (12)$$

Onde:

f_{pm} = resistência média dos corpos-de-prova (MPa);

Por fim, o valor de $f_{pk,est}$ é o menor entre f_{pk3} e f_{pk4} .

4.2.4 Análise da macroestrutura

No laboratório de Materiais do Campus Londrina, foram realizadas análises de macroestrutura através de um estereoscópio nas amostras dos blocos de referência e blocos com adição de ADF aos 28 dias para se obter visão tridimensional para a melhor compreensão do comportamento da ADF na mistura do concreto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

5.1.1 Massa unitária, massa específica e pulverulência

No ensaio de massa específica da areia descartada de fundição, devido ao seu comportamento no frasco de *Chapman* foi necessário adicionar aos 200 ml de água, volume preconizado na norma, 30 ml de água para que a leitura fosse realizada.

Os resultados de massa unitária e massa específica estão expressos na Tabela 3. Esses dados servem para determinar o traço em massa e em volume.

Tabela 3 - Massa unitária e Massa específica dos agregados miúdos e graúdos

	ANR	ADF	Pó de pedra	Pedrisco
Massa Unitária (kg/m ³)	1,54	1,12	1,46	1,35
Massa Específica (g/cm ³)	2,65	2,40	2,85	2,83

Fonte: Elaborado pela Autora.

O ensaio de materiais pulverulentos ocorreu somente para os agregados pó de pedra e areia descartada de fundição. O procedimento utilizado foi o “A” (lavagem com água) preconizado na norma NM 46:2003. Os resultados estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4 – Material pulverulento (%)

	Pó de pedra	ADF
Material pulverulento	14,6 %	16,6 %

Fonte: Elaborado pela Autora.

Na NBR 7211:2009 está especificado que o limite de teor de pulverulentos para agregados resultantes de britagem de rocha, caso do pó de pedra, é de 12% para o concreto protegido de desgaste superficial. Entretanto, de acordo com Menossi (2004), dependendo da origem do agregado, esse limite pode chegar a 20% sem

comprometer a aderência na argamassa. Portanto, mesmo com limite superior à norma, o pó de pedra não necessariamente prejudicará o desempenho do bloco.

Em relação à ADF, como não há limites especificados na norma quanto à sua origem, não é possível prever a consequência do teor de material pulverulento obtido. Segundo Fernandes (2012), até certo limite, o material pulverulento não prejudica a qualidade do bloco, pois ao mesmo tempo que diminui a resistência da pasta, promove um melhor arranjo da mistura diminuindo os vazios e aumentando a resistência do bloco.

5.1.2 Granulometria

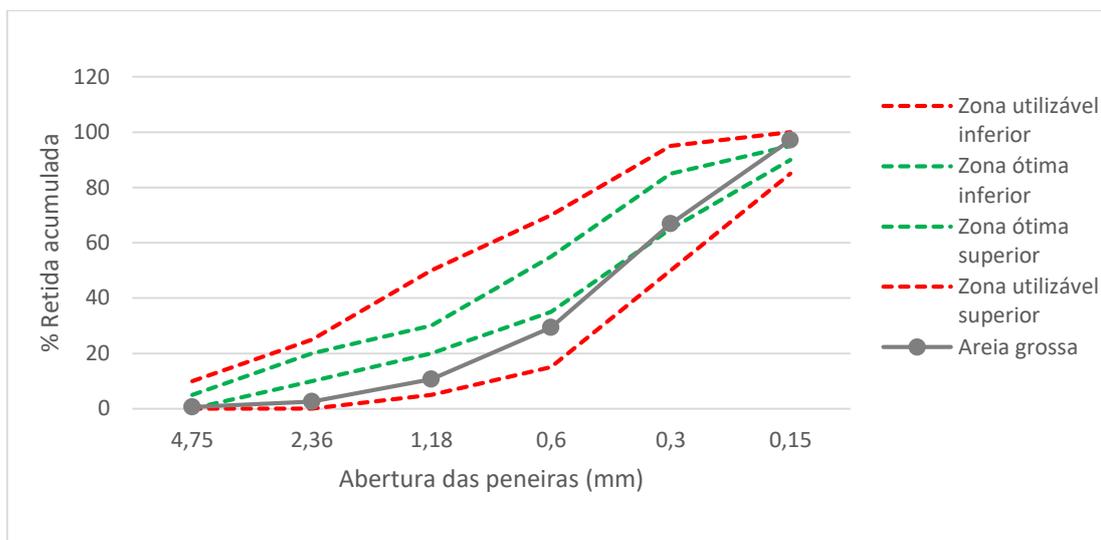
5.1.2.1 Areia

Os resultados da análise granulométrica estão expressos na Tabela 5 e a curva granulométrica na Figura 14. De acordo com os resultados do módulo de finura esta areia é classificada como “muito fina” e a partir do comportamento da curva granulométrica, se enquadra na zona utilizável inferior com um desvio para zona ótima da abertura da peneira 0,3 mm até a abertura 0,15mm.

Tabela 5 – Composição granulométrica da areia

Peneiras	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida-acumulada
4,75 mm	5,80	0,58	0,58
2,36 mm	19,90	1,99	2,57
1,18 mm	80,70	8,08	10,65
0,60 mm	186,40	18,66	29,32
0,30 mm	375,30	37,58	66,90
0,15 mm	301,40	30,18	97,08
Fundo	29,20	2,92	-
Dimensão Máxima Característica = 2,36 mm			
Módulo de finura = 2,07 (muito fina)			

Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 14 – Curva granulométrica da areia grossa

Fonte: Elaborado pela Autora.

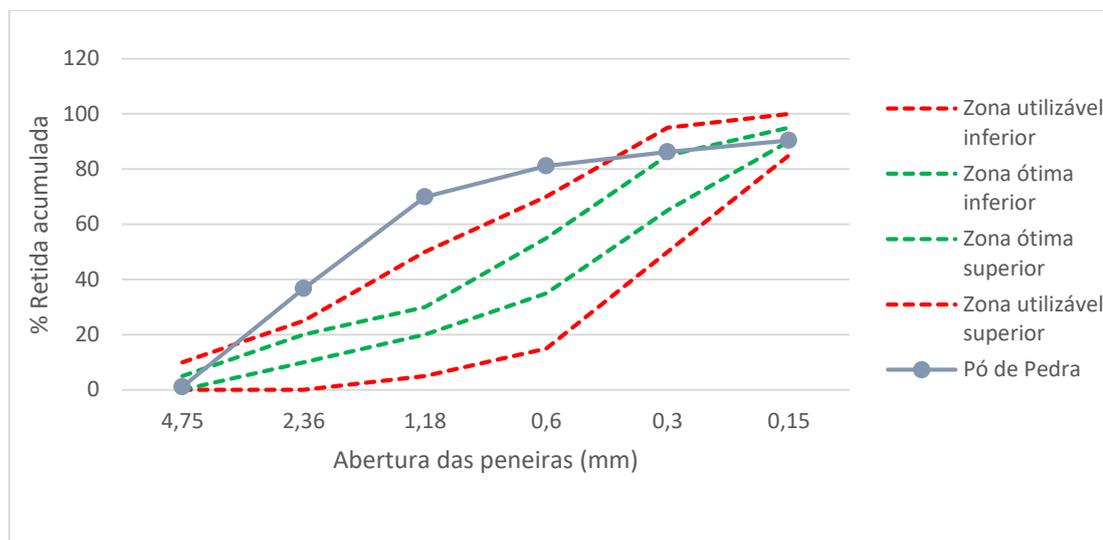
5.1.2.2 Pó de pedra

Os resultados da análise granulométrica obtidos pelo peneiramento (Tabela 6) e a curva granulométrica (Figura 15), indicam que o pó de pedra não se enquadra na zona utilizável estabelecida pela NBR 7211:2009. Analisando o seu módulo de finura, pode ser classificado como “grossa”.

Tabela 6 - Composição granulométrica do pó de pedra

Peneiras	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida-acumulada
4,75 mm	10,60	1,06	1,06
2,36 mm	355,90	35,66	36,72
1,18 mm	331,20	33,19	69,91
0,60 mm	111,70	11,19	81,10
0,30mm	50,90	5,10	86,20
0,15 mm	42,10	4,22	90,42
Fundo	95,60	9,58	-
Dimensão Máxima Característica = 2,36 mm			
Módulo de finura = 3,65 (grossa)			

Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 15 – Curva granulométrica do pó de pedra

Fonte: Elaborado pela Autora.

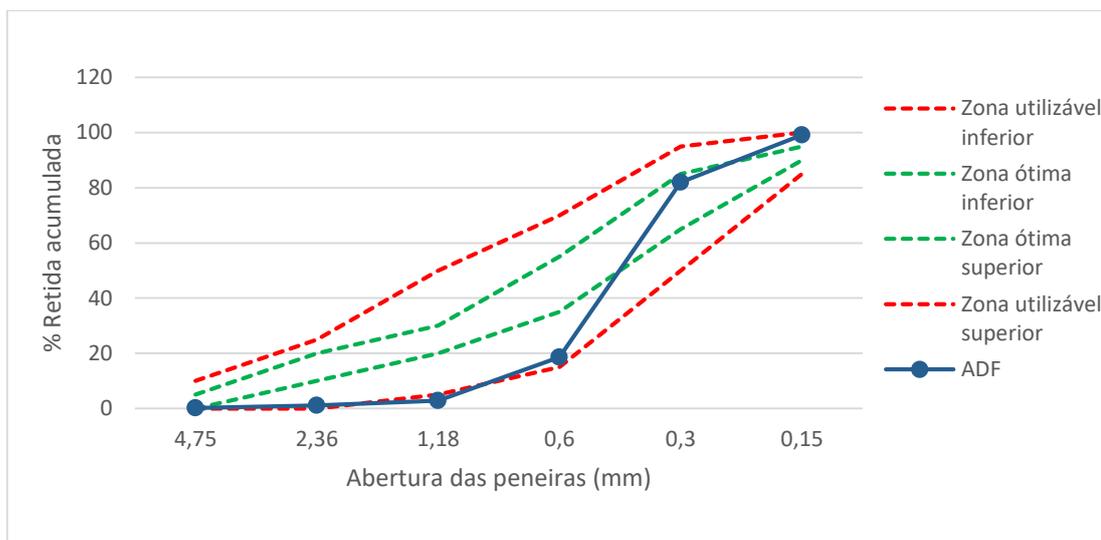
5.1.2.3 Areia descartada de fundição

A composição granulométrica obtida para a areia descartada de fundição (Tabela 7) e a sua respectiva curva granulométrica (Figura 16) indicam que a mesma encontra-se dentro da zona utilizável inferior estabelecida na NBR 7211:2009, apresentando considerável oscilação nas peneiras 0,60 mm, 0,30 mm e 0,15 mm, convergindo para a zona utilizável superior. De acordo com o módulo de finura classifica-se como “muito fina”.

Tabela 7- Composição granulométrica da ADF

Peneiras	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida-acumulada
4,75 mm	1,90	0,19	0,19
2,36 mm	9,30	0,93	1,12
1,18 mm	17,50	1,75	2,88
0,60 mm	156,80	15,72	18,59
0,30 mm	632,00	63,35	81,94
0,15 mm	171,90	17,23	99,17
Fundo	8,30	0,83	-
Dimensão Máxima Característica = 1,18 mm			
Módulo de finura = 2,08 (muito fina)			

Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 16 –Curva Granulométrica da ADF

Fonte: Elaborado pela Autora.

5.1.2.4 Pedrisco

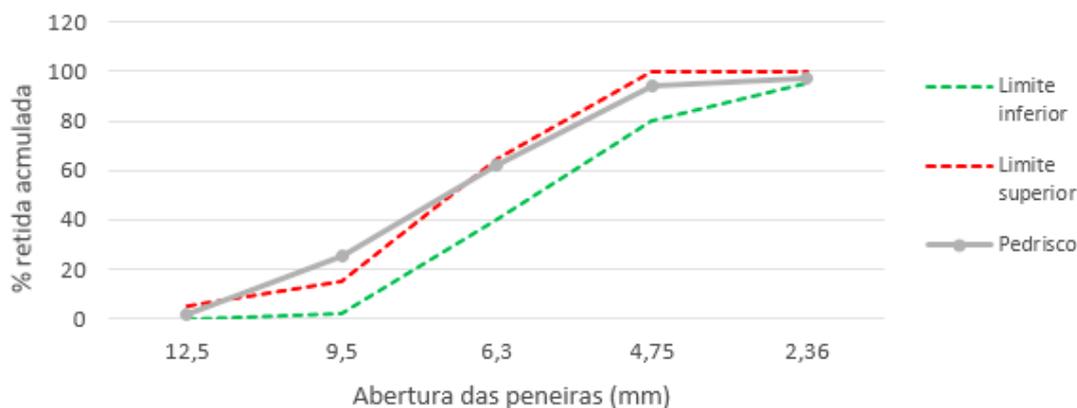
É possível observar através dos resultados da Tabela 8, que o pedrisco apresentou, em sua maioria, grãos retidos nas peneiras de 9,5 a 2,36 mm. Essa faixa granulométrica é esperada para esse tipo de agregado. Porém, observa-se grãos retidos nas peneiras de tamanho inferior a essa faixa, indicando quantidade excessiva de areia.

A curva granulométrica (Figura 17), está parcialmente dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211:2009, sendo que a porção não enquadrada ocorreu para as peneiras de abertura entre 9,50 e 6,30 mm. Isto pode ser explicado pelo excesso de areia.

Tabela 8 – Composição granulométrica do pedrisco

Peneiras	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida-acumulada
9,50 mm	14,45	1,44	1,44
6,30 mm	241,50	24,15	25,59
4,75 mm	363,40	36,34	61,93
2,36 mm	323,80	32,38	94,31
1,18 mm	28,80	2,88	97,19
0,60 mm	4,90	0,49	97,68
0,30 mm	1,70	0,17	97,85
0,15 mm	2,40	0,24	98,09
Fundo	19,14	1,91	-
Dimensão Máxima Característica = 4,75 mm			
Módulo de finura = 5,47			

Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 17 - Curva granulométrica do pedrisco

Fonte: Elaborado pela Autora.

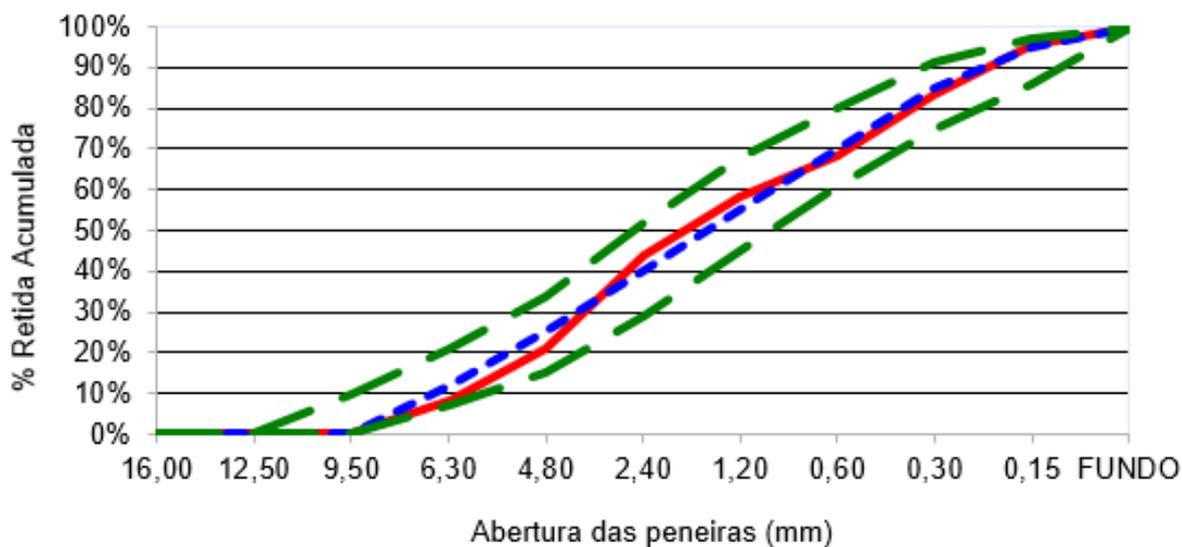
5.2 TRAÇO DOS BLOCOS DE CONCRETO

A partir dos resultados da análise granulométrica foi composto, primeiramente o traço do bloco denominado de referência com a seguinte proporção dos agregados: Areia grossa (35%), Pó de pedra (32%) e Pedrisco (33%) (Figura 18).

A linha vermelha corresponde ao traço determinado a partir das porcentagens retidas acumuladas e a abertura das peneiras, as linhas verdes tracejadas indicam o limite máximo e mínimo para blocos de concreto proposta por

Fernandes e a linha azul tracejada indica a faixa granulométrica proposta pela Besser Company. O coeficiente de determinação (r^2) desse traço é de 0,9608.

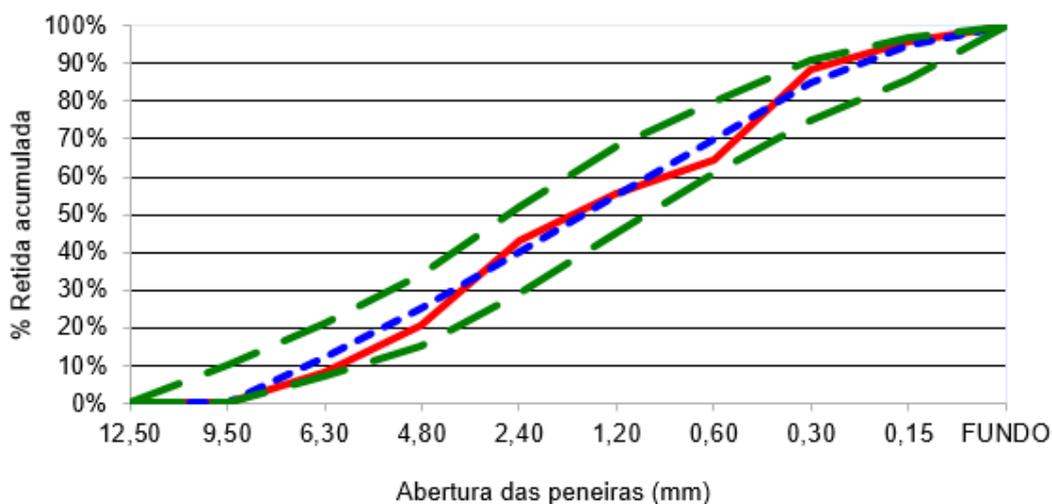
Figura 18 – Traço do bloco de concreto de referência.



Fonte: Planilha utilizada pela BBL – Engenharia (2017)

Em seguida, foram realizados estudos para a escolha da melhor proporção entre os agregados e a ADF. De acordo com o descrito anteriormente, ficou estabelecido a substituição total da areia grossa pela ADF. Porém, é possível observar pela Figura 19, que com a substituição total a curva enquadra-se nos limites, mas apresenta oscilações com relação à linha azul não consideradas ideais para o padrão da empresa. O r^2 para esse traço foi de 0,9564, inferior ao de referência.

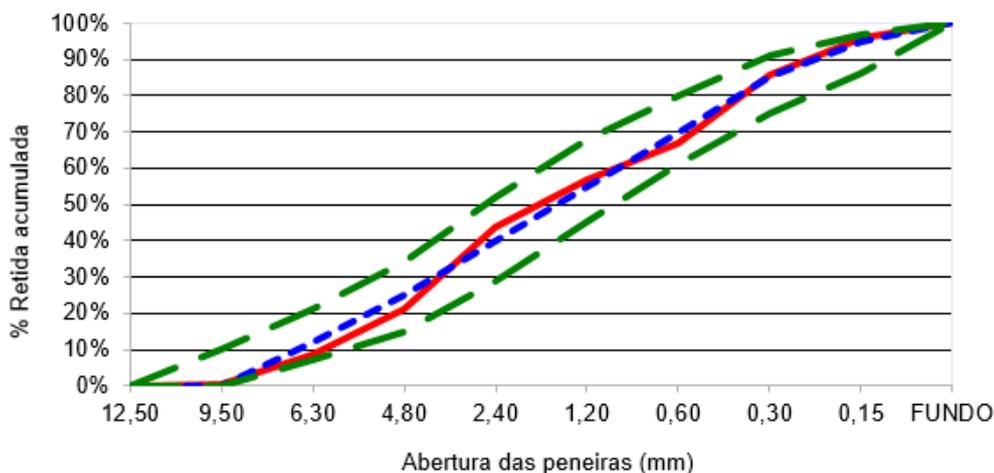
Figura 19 – Traço para o bloco de concreto com a substituição total da areia grossa pela ADF



Fonte: Planilha utilizada pela BBL – Engenharia (2017)

Devido ao exposto acima, foi realizada uma nova tentativa de substituir somente 15% da areia grossa pela ADF (Figura 20). A curva obtida apresentou uma aproximação da faixa considerada ideal com um comportamento mais linear que a anterior e mais próximo ao de referência, com o r^2 de 0,9597. Assim, essa foi a substituição adotada para a fabricação dos blocos, com a seguinte proporção: Areia grossa (20%), Pó de pedra (32%), Pedrisco (33%) e ADF (15%).

Figura 20 – Traço para o bloco de concreto com substituição de 15% da areia grossa pela ADF.



Fonte: Planilha utilizada pela BBL – Engenharia (2017)

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

5.3.1 Análise dimensional

Foram obtidas as medidas para cada bloco de concreto de referência e para cada bloco com a adição de ADF. Na Tabela 9 está expressa a média das medidas dos blocos e as recomendações da NBR 6136:2016. É possível observar que todas as categorias estão de acordo com a norma.

Tabela 9 – Dimensões dos blocos de referência e blocos com adição de ADF.

Dimensões (mm)	Recomendado pela NBR 6136:2016	Bloco de referência	Bloco com adição da ADF
Largura	140 ± 2,0	140	140
Altura	190 ± 3,0	189	188
Comprimento	340 ± 3,0	340	340
Paredes longitudinais	> 25	27	28
Paredes transversais	> 25	28	27
Furo	≥ 70	88	88

Fonte: Elaborado pela Autora.

5.3.2 Absorção de água

Os resultados do ensaio de absorção de água dos blocos de concreto de referência e dos com adição de ADF estão representados na Tabela 20. É possível observar que o bloco fabricado com o resíduo apresentou um valor de absorção maior que o de referência, entretanto, ambos os blocos estão de acordo com os requisitos estabelecidos pela NBR 6136:2016 (Quadro 7). Foi observado que a massa natural dos blocos com adição de ADF são, em média, 400 gramas mais leves que os blocos de referência.

A diferença de 1,3% de absorção do bloco com adição de ADF pode ser atribuída a presença de bentonita. Ela tem a capacidade de inchamento quando em contato com água, podendo expandir várias vezes o seu volume (da Luz *et al.*, 2008).

Tabela 10 - Resultados do ensaio de absorção de água dos blocos de referência e blocos com adição de ADF.

	Massa Natural	Bloco de referência	Massa Natural	Bloco com adição de ADF
Absorção de água	11797 g	7,0%	11352 g	8,3%

FONTE: Elaborado pela Autora.

Quadro 7 – Requisitos para resistência característica à compressão axial e absorção

Classificação	Resistência característica à compressão axial MPa	Absorção (%)	
		Individual	Média
Com função estrutural	$fbk \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$
	$4,0 \leq fbk < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$
Com ou sem função estrutural	$fbk \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$

FONTE: Adaptado ABNT NBR 6136:2016.

5.3.3 Resistência à compressão axial

5.3.3.1 Resistência à compressão axial aos 7 dias

Os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão aos 7 dias dos blocos de concreto de referência e dos blocos com adição de ADF encontram-se na Tabela 11.

Nota-se que a resistência de ambos os blocos não atingiu os 81,87% estabelecido no item 12.3.3 da NBR 6118 “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento” (ABNT, 2014) para a resistência de 4,5 MPa. Era esperado que os blocos alcançassem no mínimo essa resistência devido a utilização de cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI) em sua mistura. Este fato pode ser atribuído a utilização do neoprene na regularização das faces do bloco, procedimento não previsto em norma.

Tabela 11 – Resultados das resistências à compressão axial aos 7 dias dos blocos de referência e com adição de ADF

	Carga máxima (N)	Tensão bloco de referência (MPa)	Carga máxima (N)	Tensão bloco com adição de ADF (MPa)
fb1	162018	3,37	126669	2,62
fb2	164227	3,40	133076	2,75
fb3	165700	3,43	134107	2,78
fb4	169971	3,52	134475	2,78
fb5	174905	3,62	135727	2,81
fb6	183669	3,81	137936	2,88
fbk,est		3,34 MPa		2,59 MPa
Desvio Padrão		0,16 MPa		0,09 MPa

FONTE: Elaborado pela Autora.

5.3.3.2 Resistência à compressão axial aos 28 dias

Os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão aos 28 dias dos blocos de concreto de referência e dos blocos com adição de ADF estão na Tabela 12.

Ambos os blocos atingiram a resistência mínima de 4,5 MPa. O bloco de referência apresentou superioridade de 0,3 MPa ao bloco com adição de ADF,

entretanto, ao analisar o desvio padrão dos resultados, o segundo foi menor implicando que os valores apresentaram menor dispersão.

Tabela 12 – Resultados das resistências à compressão axial aos 28 dias dos blocos de referência e com adição de ADF

	Carga máxima (N)	Tensão bloco de referência (MPa)	Carga máxima (N)	Tensão bloco com adição de ADF (MPa)
fb1	271923	5,7	257802	5,4
fb2	318208	6,7	273590	5,7
fb3	323013	6,8	276826	5,8
fb4	349391	7,3	293104	6,2
fb5	346253	7,3	300753	6,3
fb6	366160	7,7	327328	6,9
fbk, est	-	5,6 MPa	-	5,3 MPa
Desvio Padrão	-	0,7 MPa	-	0,5 MPa

5.3.4 Resistência à compressão do prisma

Os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão do prisma encontram-se na Tabela 13. A ruptura de todos os prismas foi originada nos blocos, significando que a argamassa é mais resistente que o bloco. É preferível que a argamassa rompa antes do bloco, considerando que a argamassa deve apresentar 70% da resistência do bloco (GHISLENE, 2014).

Tabela 13 – Resultados de resistência à compressão do prisma

Prisma	Carga (N)	Resistência (MPa)
1	216026	4,5
2	233873	4,9
3	239168	5,0
4	249170	5,2
5	250347	5,3
6	262507	5,5
f_{pk, est}	-	4,3 MPa
Desvio Padrão	-	0,34 MPa

FONTE: Elaborado pela Autora.

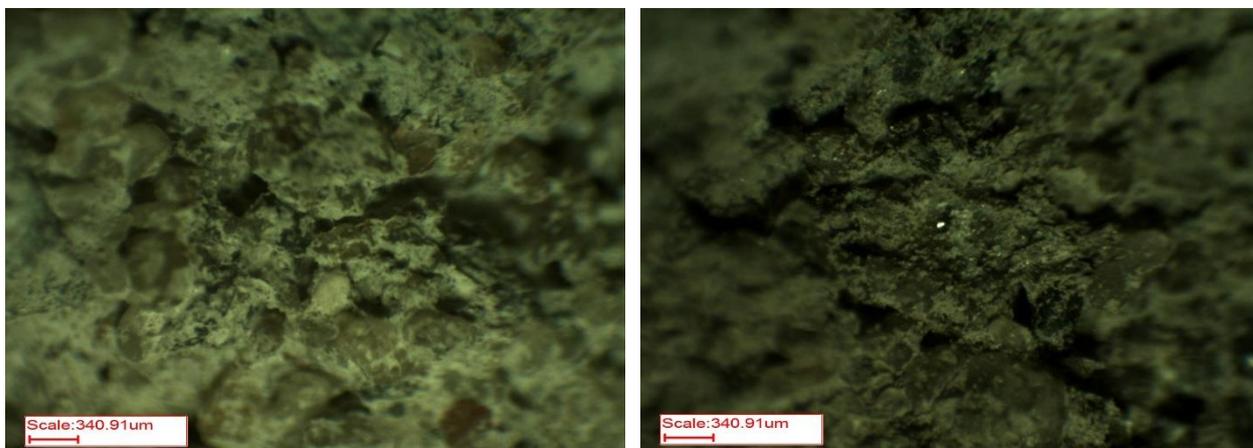
5.4 ANÁLISE DA MACROESTRUTURA

A partir das imagens obtidas pelo estereoscópio (aproximação de 80x) da amostra dos blocos de referência e com adição de ADF (Figura 21), nota-se que a matriz de cimento do bloco com adição de ADF (b) é mais homogênea comparada ao bloco de referência (a). Isto pode ser atribuído à característica granulométrica da ADF.

Nota-se semelhança entre o módulo de finura da areia natural e da ADF, porém a D.M.C da ADF (1,18 mm) é menor que a da areia (2,36 mm) significando menor dimensão dos grãos da ADF preenchimento melhor os vazios.

Outro fator possivelmente atribuído ao menor número de vazios, é a porcentagem de material pulverulento da ADF (16,6%) que pode ter facilitado as condições de acomodamento promovendo a homogeneidade da matriz, sem comprometer a resistência do bloco.

Figura 21 – Macroestrutura do bloco de concreto de referência e bloco de concreto com adição de ADF.



a) Bloco de referência

b) Bloco com adição de ADF

FONTE: Técnico do laboratório de Engenharia de Materiais, 2017

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização dos agregados foi imprescindível para ajustar o traço com a inserção da areia descartada de fundição. Notou-se também, que o peso final do bloco com ADF foi menor que o de referência. Esta redução minimiza os problemas ergonômicos decorrentes da elevação de alvenaria.

Os blocos ensaiados atingiram os valores de resistência específicos para blocos de concreto estrutural de 4,5 MPa, bem como as tolerâncias dimensionais.

No âmbito da empresa de fundição, ao encaminhar o resíduo para a reutilização, estará respeitando a hierarquia imposta pela PNRS, já que destinará o resíduo para reciclagem ao invés de fazer sua disposição em aterro. Assim, além de incentivar a prática, estará contribuindo com a prolongação da vida útil do aterro industrial.

A utilização de areia descartada de fundição como agregado miúdo na produção de blocos de concreto estrutural pode criar oportunidades, além do próprio artefato, que beneficiem as empresas envolvidas. Caso o volume mensal gerado de resíduo não seja suficiente para a suprir a demanda mensal de areia natural para a produção dos blocos, a empresa pode gerar um sistema de recepção desse resíduo, mesmo que o seu uso seja parcial. Com isso, a empresa terá a possibilidade de obter o Selo de Qualidade da Abrecon⁵.

Essa prática poderá ser utilizada como uma ferramenta de Marketing “Verde” já que a empresa, além de reutilizar um resíduo industrial para a produção, estará reduzindo a necessidade de utilização de recursos naturais.

Como sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se o estudo da análise de vantagens econômicas ambientais.

⁵ O Selo de Qualidade avalia as partes que compõe uma usina e que influenciam diretamente da qualidade e produtividade das mesmas, considerando: Congruência documental, Sistema de recepção de resíduos, processo produtivo, manutenção de equipamentos e controle de qualidade.

REFERÊNCIAS

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. **Guia ABIFA de fundição**. São Paulo. 2015.

ALVES, Bárbara Samartini Queiroz et al. **Estudo da viabilidade ambiental da reutilização das areias descartadas de fundição**. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6163 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

____NBR, N. M. 45: Agregados—Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios. Rio de Janeiro, 2006.

____NBR, N.M. 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

____NBR, N.M. 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

____NBR, N.M. 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

____NBR, 7211: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

____NBR, 7211: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

____NBR, 9775: Agregado miúdo – Determinação de teor de umidade superficial por meio de frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

____NBR, 15961 - 2: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

____NBR 10837 - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto: Rio de Janeiro, 1989.

____NBR 12118 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

AVRELLA, João Paulo Demari et al. **Estudo da viabilidade na reutilização de areia de fundição na produção de blocos de concreto**. Salão do Conhecimento, v. 1, n. 1, 2015.

BALDAM, Roquemar L.; VIEIRA, Estéfano A. **Fundição: Processos e tecnologias correlatas**. Editora Érica, 2013.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.

BINA, Paulo et al., **Metodologia de Análise e Aprovação de Utilização de Rejeitos Industriais na Construção Civil: Estudo de Caso de Uso de Areia de Fundição de Descarte para Pavimentação**. Monobeton Soluções Tecnológicas Ltda.–Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo SA–IPT. São Paulo, 2000.

BIOLO, Simone Maríndia. **Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. 2005.

CARMELIO, J. S. *et al.* **GUIA ABIFA DE FUNDIÇÃO: ANUÁRIO 2008**. Associação Brasileira de Fundição. São Paulo: ABIFA, 2008.

CASOTTI, B. P. FILHO, E. D. B.; CASTRO, P. C. DE. **Indústria de fundição: situação atual e perspectivas**. 2011.

CORREA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo: Editora PINI Ltda, 2003.

DE CAMPOS FILHO, Mauricio Prates; DAVIES, Graeme John. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. Livros Técnicos e Científicos, 1978.

D'ELBOUX, F. A. **Minimização de descarte de areias de fundição**. Santa Bárbara d'oeste, 2000.

DONAIRE, Denis. **Gestão Ambiental nas Empresas**. 2ª edição, São Paulo, Atlas, 1999.

FERNANDES, Idário Domingues. **Blocos e Pavers**. Ribeirão Preto, SP: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2012.

GHISLENI, Geisiele. **Estudo da viabilidade na reutilização de areia de fundição na produção de blocos de concreto**. 2015.

GUIDES DO POLLUTION PREVENTION. **Metal Casting Heat Treating Industry**. EPA/625/R-92/009. Washintong, USA. Sept. 1992.

IPEA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico de Resíduos Sólidos Industriais – Relatório de pesquisa** – 2012. Disponível em: http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120927_relatorio_residuos_solidos_industriais.pdf, 2012.

KALIL, Silvia Maria Baptista; LEGGERINI, M. R. **Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre, 2007.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. CETEM/MCT, 2008.

MACIEL, Cristiane Boff. **Avaliação da geração do resíduo sólido areia de fundição visando sua minimização na empresa Metalcorte Metalurgia-Fundição**. 2005.

MARIOTTO, Claudio Luiz. **Areias ligadas quimicamente**. 2015.

MATOS, Stelvia Vigolvinho et al. Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição. In: **27º Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental**. 2000.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo JM; CARMONA FILHO, Antônio. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Pini, 1994.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004.

OLIVEIRA, Therezinha Maria Novais de; RIBEIRO DA COSTA REJANE, Helena. Areia de fundição: uma questão ambiental. In: **Areia de fundição: uma questão ambiental**. 1996.

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

PRUDÊNCIO JR, Luiz R.; OLIVEIRA, AL de; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Editora Gráfica Pallotti, 2002.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Marcio RS. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Pini, 2003.

RAUBER, Felipe Claus. **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SALVADOR FILHO, José Américo Alves. **Blocos de Concreto Para Alvenaria em Construções Industrializadas**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SIDDIQUE, R.; NOUMOWE, A. **Utilization of spentfoundrysand in controlledlow-strengthmaterialsand concrete**. Resources, ConservationandRecycling 53. 2008.

TEIXEIRA, Bernardo AN; ZANIN, Maria. Reciclagem e reutilização de embalagens. **BIDONI, FRA Metodologias e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 1999.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. São Paulo: Pini, 1999.