

## CONFEÇÃO DE ARGAMASSA UTILIZANDO AREIA RESIDUAL DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Patrícia Krüger (Universidade Estadual de Ponta Grossa) E-mail: pkruger@uepg.br  
Luana Aparecida Cabral (Universidade Estadual de Ponta Grossa) E-mail: luahkbral@hotmail.com  
Vanessa de Fátima Clemente de Souza (Universidade Estadual de Ponta Grossa) E-mail: vanessadesouza@outlook.com

**Resumo:** Com o avanço da tecnologia e aumento da necessidade humana em usufruir de produtos, as indústrias vêm crescendo em ritmo acelerado para suprir a demanda, ou seja, cada vez mais se produz e também se descarta. A ganância pela produção passou a ter uma aliada, a preocupação com a disposição dos resíduos gerados nos processos. Principalmente pelo fato de que além de certos resíduos se tornarem um grande problema ambiental pode se tornar também uma parte onerosa da produção. A indústria de fundição é uma das que lideram o ranking de produção de resíduos, pois o processo adotado por muitas indústrias dessa categoria gera uma grande quantidade de material que não pode ser reaproveitado dentro do processo, sendo então descartado em aterros. Vislumbrando um destino correto para a areia descartada na fundição, estudos foram feitos de forma a comprovar a viabilidade da inserção desse resíduo como agregado miúdo na confecção de argamassas. Então, fez-se necessários ensaios de caracterização do material, bem como o desenvolvimento de traços alterando o fator água-cimento para avaliar seu comportamento quando misturado com aglomerante. De forma comparativa, foi trabalhado também com a areia do Rio Tibagi, muito utilizada na região para fins da construção civil, proporcionando uma análise mais clara e completa do estudo. Nos ensaios de consistência, trabalhabilidade e retração foram obtidos resultados satisfatórios das argamassas que tiveram a adição de areia de fundição, trabalhando de forma semelhante às argamassas confeccionadas com areia convencional, confirmando assim a viabilidade da utilização desse resíduo na confecção de argamassas.

**Palavras-chave:** Resíduo, Areia de fundição, Argamassa, Construção Civil.

## PREPARATION OF MORTAR USING RESIDUAL SAND CASTING PROCESS

**Abstract:** With the advancement of technology and the growing human necessity on the use of products, industries have been growing in a fast rhythm to supply the demand, in other words, more and more is also manufactures and discards. The greed for production now has an ally, the concern about the disposal of residues generate in process. Mainly by the fact that beyond certain residues become a great environmental problem, it can also be an onerous part of production. The casting industry is ones that lead the ranking of waste generating, because the process adopted by many industries in this category generates a great amount of material that cannot be reused within the process, and then being disposed into landfills. Beholding one correct way to casting thrown in sand, studies were made in order to prove the viability of insertion of this residue as fine aggregate on mortar production. So, it was necessary characterization test of this material, as well as development of proportions changing the water-cement factor to evaluate the behavior when mixed with binder. Comparatively, was also made a study with Tibagi River's sand, widely used in the region for the civil construction purpose providing a clear and complete analysis of the study. In the consistency, workability and retraction tests, were obtained satisfactorily results of mortars that had addition of casting sand, working similarly to mortars with conventional sands, confirming the viability of using of this residue on mortars confection.

**Keywords:** Residue, casting sand, mortar, civil contruction.

### 1. INTRODUÇÃO

No cenário industrial, atualmente, existe uma grande preocupação em relação aos resíduos gerados pelos processos produtivos. Esses resíduos além de ser um problema ambiental também geram custos cada vez mais elevados de instalações necessárias para o descarte

apropriado desse material. Atualmente, devido a norma ISO 14000, as indústrias que buscam melhor aceitação no mercado tem interesse em certificações ambientais, e as oportunidades de valorização de seus resíduos são cada vez mais procuradas.

A indústria da fundição enfrenta esses problemas ambientais e econômicos, devido ao grande volume de resíduos gerados pelos seus processos, que ainda são destinados à aterros, sem um reaproveitamento adequado. Somente no Brasil são gerados cerca de três milhões de toneladas por ano de areia descartada como resíduo da fundição (ABIFA, 2009). Grande parte dessa areia é destinada à aterros industriais, que mesmo sendo controlados geram problemas ambientais como contaminação de lençóis freáticos, contaminação do solo e do ar, prejudicando conseqüentemente a saúde das pessoas que vivem perto desses aterros e a fauna da região. A reutilização dessa areia já é uma prática em desenvolvimento nos EUA e em países da Europa, pois há estudos comprovando o sucesso da incorporação desse resíduo em produtos da construção civil.

De acordo com Marino (2004) citado por Biolo (2005), estudos internacionais do núcleo de estudos do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, o setor da construção civil é o maior consumidor de recursos naturais, sendo responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos extraídos, conforme o país e seu desenvolvimento econômico. No Brasil, ainda segundo estudos, o consumo de agregados naturais varia de 1 a 8 toneladas por habitante/ano. Para se ter ideia desse montante, somente na produção de concreto e argamassa, cerca de 220 milhões de toneladas são extraídas anualmente.

Sendo assim, a construção civil se apresentando como uma grande consumidora de recursos naturais e a areia de fundição como sendo um problema ambiental devido seu grande volume. A incorporação dessa areia em argamassas, concreto, massa asfáltica ou blocos de vedação é uma alternativa de grande potencial para solucionar problemas ambientais e econômicos das duas indústrias, da construção e da fundição.

## **2. PROCESSO DE FUNDIÇÃO**

A fundição é o processo de moldação do metal fundido com o objetivo de produzir uma peça de forma geométrica desejável. Esse processo inicia-se com a criação do molde que pode ser de moldagem perdida ou permanente. A moldagem perdida dá origem a moldes que podem ser utilizados para obtenção de apenas uma peça vazada. E a permanente permite vaziar uma série de peças sem haver danos ao molde. Devido a moldação permanente ser realizada com moldes metálicos que não possuem boa resistência a intempéries, ao desgaste por erosão e a fadiga térmica causada pelas altas temperaturas do processo, a maioria das peças são moldadas em moldes de areia, ou seja, a moldação perdida (Figura 1).



Figura 1 – Vazamento do metal fundido em molde de areia verde.

Existem vários processos que utilizam os moldes de areia, mas os mais utilizados são os processos por moldagem em areia verde (Figura 2) e por moldagem em areia cura frio (Figura 3). A areia verde é a mistura de areia natural com aglomerante, aditivos e água. A presença de umidade é razão do nome dado à areia. O aglomerante utilizado é a bentonita, um tipo de argila, justificando a utilização de água para dar plasticidade à mistura. E o aditivo normalmente utilizado é o carvão, que melhora o acabamento superficial das peças, evita a penetração do metal líquido no molde, aumenta a plasticidade da areia, reduz a expansão térmica da sílica, facilita na limpeza das peças, além de dar coloração preta à areia. E a areia cura frio é uma composição de areia natural, resina sintética, agente humidificador, catalisador e aditivos. As resinas mais utilizadas nesse processo são de base fenólica que são constituídas por Fenol-Formaldeído, resinas de base de ureia, constituídas por Ureia-Formaldeído e de base melamina, constituídas por Melamina-Formaldeído. O catalisador é adicionado à mistura com a finalidade de permitir que o aglomerante passe pelo processo de cura à temperatura ambiente. E o agente humidificador tem o objetivo de facilitar a mistura de areia com a resina, evitando à formação de poeiras nocivas à saúde.



Figura 2 – Areia Verde



Figura 3 – Areia cura frio.

### 3. AREIA COMO RESÍDUO DA FUNDIÇÃO

A retirada das peças é feita com a quebra do molde, e a areia depois de utilizada como material de moldagem perde algumas propriedades essenciais para uma nova moldagem. E os processos para recuperação dessa areia, para reaproveitamento dentro da própria indústria, são muito onerosos, inviabilizando essa prática para a maioria das empresas. Com isso, a areia passa a ser um resíduo de fundição tonando-se um problema ambiental e financeiro à empresa, devido aos gastos com a construção e manutenção de aterros sanitários para a destinação do material (Figura 4).



Figura 4 – Aterro industrial, destinação de areia descartada do processo de fundição

Segundo a NBR 10004 (2004) as areias de fundição são classificadas como “Resíduos Não Perigosos” (Classe II A). Mas, segundo Mariotto (2000) citado por Biolo (2005), devido ao fato das areias cura a frio poderem ser compostas de uma variedade de resinas e catalizadores orgânicos, que nem sempre se conhece a composição desses produtos, e as areias incorporarem teores de elementos constituintes de ligas metálicas, essas areias podem se tornar um resíduo perigoso. Em relação as resinas de Fenol-Formaldeído, a NBR 10004 classifica os componentes dessa resina no anexo E da norma como substâncias tóxicas.

O presente artigo tem por objetivo a utilização desta areia provinda do resíduo da fundição para a fabricação de argamassas para utilização dentro do processo da construção civil. Segundo a NBR 7200/1998, argamassa é a mistura de aglomerantes inorgânicos, agregado miúdo, água e eventualmente aditivos, que possui a capacidade de endurecimento e aderência. O aglomerante (elemento ativo) pode ser a cal, cimento, gesso ou outros. E o agregado (elemento inerte) normalmente é a areia.

As propriedades das argamassas estão diretamente ligadas aos tipos de aglomerantes utilizados, tipo de agregado, do traço e da quantidade de água. Como há uma variedade de argamassas é necessário primeiramente fazer o levantamento das propriedades essenciais para o serviço a ser executado, para depois fazer a escolha. As propriedades fundamentais para classificação da argamassa e para julgar se é adequada ou não para um determinado serviço são: consistência, trabalhabilidade, retração, aderência e resistência mecânica.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Ensaio de Caracterização das Areias

A fim de analisar a areia de fundição como um possível agregado miúdo para confecção de argamassa, primeiramente foi selecionada a amostra do material. Sendo o foco principal desse trabalho a eliminação de aterros já existentes, o material foi retirado diretamente de um aterro localizado no município de Ponta Grossa, PR. Nesse aterro são descartados areia verde e areia cura frio, sendo assim a amostra composta. Antes, de incorporar esse material em argamassa, houve a necessidade de classificar esse material estabelecendo um comparativo com a areia natural proveniente do Rio Tibagi, escolhida por ser bastante utilizada na região como agregado miúdo e por ter uma granulometria fina, assemelhando-se visualmente à areia de fundição.

A caracterização dos dois materiais seguiu as seguintes etapas:

- Determinação da massa específica absoluta;
- Determinação da massa específica aparente;
- Determinação do inchamento;
- E determinação da granulometria.

Destes ensaios resultaram os valores descritos na Tabela 1, onde são apresentados separadamente para a areia de fundição e para a areia do Rio Tibagi.

Tabela 1 – Valores comparativos da caracterização dos agregados

Ensaio	Areia de fundição	Areia do Rio Tibagi
Massa Específica absoluta	2,574 g/cm <sup>3</sup>	2,587 g/cm <sup>3</sup>
Massa unitária	1,522 g/cm <sup>3</sup>	1,522 g/cm <sup>3</sup>
Inchamento	ICM = 1,22 hc = 1,7%	ICM = 1,26 hc = 4,4%
Análise Granulométrica	DMC = 0,6mm MF = 1,75	DMC = 2,4mm MF = 1,80

Da tabela 1 pode-se fazer algumas análises em relação aos dois agregados estudados. Quando se pretende fazer um estudo comparativo entre dois materiais é importante que ambos possuam algumas características em comum, para então poder observar seu comportamento perante outras propriedades a serem estudadas.

Observa-se então que a areia do Rio Tibagi possui a massa específica absoluta e massa unitária muito próximas aos valores obtidos para a areia de Fundição. Quanto a análise granulométrica observou-se que visualmente a areia de fundição é mais fina e mais uniforme que a areia proveniente do Rio Tibagi. Mas o módulo de finura, utilizado para obter o traço da argamassa, ficou muito parecido ( $MF_{Tibagi} = 1,80$ ,  $MF_{Fundição} = 1,75$ ).

O módulo de finura influencia na quantidade de água necessária para o amassamento, sendo que quanto menor o seu valor exige-se uma maior quantidade de água e também há um aumento na quantidade de cimento para manter o fator água/cimento conforme o preestabelecido. Sendo assim, tanto a areia do Tibagi quanto a areia de fundição apresentarão os mesmos inconvenientes.

Porém quanto ao inchamento observou-se que a areia de fundição inchou 22% em relação ao seu volume inicial e a areia do Tibagi teve um inchamento um pouco mais significativo de 26,25%. Mas, a areia de fundição atingiu seu inchamento máximo com uma umidade crítica de apenas 1,70%, bem inferior em relação a areia do Tibagi que tem seu inchamento máximo com 4,40%.

#### 4.2. Ensaio de Argamassas

Após a caracterização dos materiais foram confeccionadas argamassas com traço 1:3 variando os fatores água/cimento entre 0,4, 0,5 e 0,6 a fim de analisar o comportamento das duas areias em argamassas, através de resultados de ensaios de consistência e resistência. Após obter esses resultados, escolheu-se o fator água/cimento que resultou num comportamento adequado para ambas as areias e foram confeccionadas argamassas substituindo a areia do Tibagi pela de Fundição nas porcentagens crescentes de 0%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%, para analisar qual seria a proporção mais adequada para utilização da areia de Fundição, por meio de ensaios de consistência, resistência e retração.

#### 4. 2. 1. Ensaio de Determinação do Índice de Consistência Normal

Este índice consiste em determinar se a argamassa é seca, plástica ou fluída. Este ensaio é descrito no anexo B da norma NBR 7215 (1996) pelo método utilizando a mesa para índice de consistência. Neste ensaio a argamassa é forçada a se deformar mediante 30 quedas padronizadas dessa mesa, no tempo de 30 s. O resultado do ensaio é dado em milímetros, denominado de medida de espalhamento, que é dado pela média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais da argamassa após a aplicação dos golpes. Os índices de consistência foram obtidos pela média de três ensaios, afim de obter resultados confiáveis, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Índice de consistência dos traços das argamassas.

AGREGADO MIÚDO	TRAÇO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA NORMAL (mm)
AREIA DO TIBAGI	1:3:0,40	135,83
	1:3:0,50	190,00
	1:3:0,60	284,25
AREIA DE FUNDIÇÃO	1:3:0,40	139,50
	1:3:0,50	199,75
	1:3:0,60	314,50

Conforme os resultados pode-se afirmar que a argamassa com areia de fundição tem maior espalhamento do que a areia do Tibagi, caracterizando-se como mais fluída. No traço 1:3:0,40 as argamassas se apresentam secas e de difícil trabalhabilidade e a diferença entre as duas não foi muito significativa. No traço 1:3:0,50 as argamassas já apresentam uma boa trabalhabilidade e a consistência foi plástica e a argamassa com areia de fundição apresentou um comportamento um pouco mais fluído do que a argamassa com areia do Rio Tibagi. No traço 1:3:0,60 as argamassas ficaram mais fluídas e pouco trabalháveis, e o houve um maior distanciamento entre os resultados das duas argamassas, sendo a com areia de fundição com maior espalhamento.

Diante dos resultados do comportamento de cada argamassa, realizou-se o ensaio de consistência novamente, porém substituindo porcentagens da areia do Rio Tibagi pela areia de Fundição, tudo com base no traço 1:3:0,52. As substituições das areias foram feitas seguindo as seguintes porcentagens: 0 %, 10 %, 20 %, 40 %, 60 % e 80 % conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Índice de consistência das argamassas com substituição parcial.

% SUBSTITUÍDA	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (mm)
0	231,67
10	246,83
20	239,17
40	250,00
60	251,67
80	263,83

Com esses resultados foi possível confirmar que a areia de fundição proporciona um maior espalhamento da argamassa, porque conforme se adiciona esse material o índice de

consistência aumenta, tendo maior fluidez. Apenas houve um desvio no resultado com 20% de adição, mas que não prejudica essa confirmação, já que a maioria dos resultados indica que a argamassa com areia do Tibagi é mais seca do que com areia de fundição.

#### 4. 2. 2. Ensaio de Resistência à Compressão Axial

A preparação da argamassa, sua moldagem e cura foram executadas de forma padronizada e seguindo o que prescreve a norma brasileira, para melhor confiabilidade dos resultados obtidos.

As resistências à compressão das argamassas foram determinadas de acordo com a NBR 7215/1996 (Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão). A Tabela 4 mostra o comportamento da resistência, aos 28 dias, da argamassa conforme se adiciona areia de fundição.

Tabela 4 - Resistência das argamassas com adição de areia de fundição

AGREGADO MIÚDO	PORCENTAGEM DE ADIÇÃO	RESISTÊNCIA MÉDIA (Mpa)
AREIA DO TIBAGI COM	0%	27,298
ADIÇÃO DE AREIA DE	10%	28,215
FUNDIÇÃO	20%	25,159
	40%	26,076
	60%	25,159
	80%	21,390
	100%	21,492

A adição da areia de fundição influenciou diretamente na resistência da argamassa, de forma que conforme se adicionava esse material ocorria uma redução na resistência. Mas, essa redução não é prejudicial para utilização da argamassa porque as suas aplicações não exigem um valor de resistência tão significativo, mas sim que a argamassa tenha uma boa consistência, boa trabalhabilidade e pouca retração. E mesmo uma argamassa com 100% de areia de fundição tem resistência suficiente para diversas aplicabilidades.

#### 4. 2. 3. Ensaio de Retração

A retração é resultado de um mecanismo relacionado ao processo de variação de umidade da pasta aglomerante, ou seja, a argamassa perde água de amassamento para a base sendo esse efeito acentuado quanto mais poroso forem os componentes da base. Esse processo pode ser influenciado por condições de temperatura, incidência solar, umidade relativa e velocidade do ar. Essa variação de volume causa a fissuração da argamassa prejudicando a sua durabilidade e estanqueidade. Para este ensaio foram utilizadas as argamassas com adição para verificar o quanto que a areia de fundição influencia nessa propriedade. As argamassas foram colocadas em formas de madeira para que fosse possível a observação dessas. A argamassa no seu estado endurecido foi observada durante um mês, para verificar seu comportamento em relação a essa propriedade.



Figura 5 – Formas de argamassa para observar retração.

Conforme a Figura 5 não houve retração significativa nas argamassas, houve apenas o descolamento da argamassa da forma gerando uma fissura neste local. Mas, seria necessário um período mais longo de observação já que segundo Fiorito (1994), mesmo após a secagem e com mais de quatro meses de idade é possível notar variações dimensionais em função do grau higrométrico do ambiente.

## 5. CONCLUSÃO

Após uma série de estudos e ensaios laboratoriais, foi possível observar de forma satisfatória o desenvolvimento da areia de fundição quando usada como agregado miúdo na confecção de argamassas. A principal preocupação no início era com relação a reação da areia quando misturada junto com o cimento, no entanto, nenhuma mudança no aspecto químico aparentemente ocorreu. Devido ao fato da areia de fundição possuir granulometria muito fina, a preocupação era também com relação a retração que a argamassa poderia sofrer quando fosse confeccionada com areia de fundição.

A retração é umas das propriedades da argamassa no estado endurecido com papel fundamental no desempenho do revestimento no que diz respeito a estanqueidade e durabilidade, consistindo basicamente na variação de volume que ocorre na argamassa devido a remoção da água retida pelas forças superficiais do gel da pasta aglomerante e da água retida entre as superfícies dos cristais, durante o processo de secagem (CINCOTTO, 1995). Como o componente do traço da argamassa que influencia muito sobre a retração é a areia, devido a sua granulometria que determina o volume de vazios a ser preenchido, a argamassa feita com areia de fundição poderia sofrer de forma abrupta as consequências de tal propriedade. No entanto, analisando os corpos-de-prova, não foram constatados nenhuma anomalia do tipo aparecimento de fissuras em nenhum dos traços com porcentagens diferentes de areia de fundição, reforçando a hipótese de que a areia pode ser aplicada na confecção de argamassas.

Em termos de consistência a areia de fundição apresentou uma melhor trabalhabilidade e consistência com uma menor quantidade de água do que a areia do Rio Tibagi, indicando que a incorporação da areia de fundição não prejudica nessa propriedade. E em relação a resistência, há uma redução de acordo com o aumento da porcentagem da areia de fundição, mas de acordo com as atividades que a argamassa será utilizada isso não será relevante.

Conforme foi apresentado não há impedimentos para a utilização desse resíduo em argamassas, baseado nas propriedades estudadas, mas é necessário que haja mais estudos principalmente para observar o seu comportamento a longo prazo.

Outro ponto a ser destacado é o fato do presente estudo não ter abordado a influência da composição química da areia de fundição nas propriedades ligadas ao aglomerante utilizado e

suas possíveis reações. Recomenda-se uma melhor exploração deste tema para que se possa obter uma análise mais conclusiva sobre o uso da areia de fundição em substituição do agregado miúdo na fabricação de argamassas.

Mas, até então pode-se verificar que esse resíduo pode ter uma destinação dentro da construção civil de modo a eliminar os grandes aterros de areias resíduos do processo de fundição e reduzir a utilização da areia natural, afim de retardar a sua escassez.

## **REFERÊNCIAS**

**ABIFA** – Associação Brasileira de Fundição. Revista Fundição & Matérias-Primas, 113ª ed, São Paulo, outubro, 2009.

**BIOLO, S.M.** *Reuso do resíduos de fundição, areia verde, na produção de blocos cerâmicos*, Rio de Janeiro, 2005

**CINCOTTO, M.A.** *Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio*. IPT, 1995.

**FERREIRA, J. M. G. C.** *Tecnologia da Fundição*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.

**FIORITO, A. J. S. I.** *Manual de argamassas e revestimento, estudos e procedimentos de execução*. PINI. São Paulo, 1994.

**NEVILLE, A. M.** *Propriedades do concreto*, PINI, 1997.

**ROCHA, J. C e CHERIAF, M.** *Aproveitamento de resíduos na construção. Coletânea Habitar ANTAC. v. 4. c. 3 Utilização de resíduos na construção habitacional*. Porto Alegre. 2003.

**NBR 10004:** *Resíduos sólidos – Classificação*: ABNT, 2004.

**NBR 7200:** *Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas*: ABNT, 1998.

**NBR 7215:** *Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão*: ABNT, 1996.

**VALVERDE, F.M.** *Sumário mineral brasileiro 2006: Agregados para a construção civil*. Brasília. Departamento de Produção Mineral, 2007.