

REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

SANTOS, Paulo¹

Faculdades Integradas Maria Imaculada – FIMI
pfsantos1979@gmail.com

BARBOSA, Alan²

Faculdades Integradas Maria Imaculada – FIMI
alanvieirabarbosa@gmail.com

GIRALDI, André Luis Ferrari de Moura³

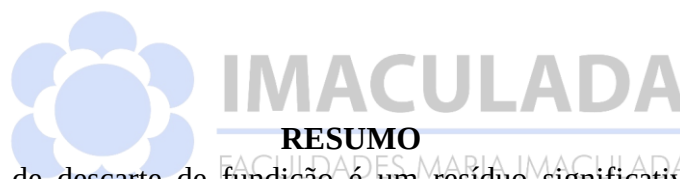
Faculdades Integradas Maria Imaculada – FIMI
andregiraldi@gmail.com

DIEGO, Souza⁴

Faculdades Integradas Maria Imaculada – FIMI

COSTA, Odilon Antônio Leme⁵

Faculdades Integradas Maria Imaculada – FIMI
odilon.eng@uol.com.br



RESUMO

A areia de descarte de fundição é um resíduo significativo gerado pelas indústrias de fundição com um descarte anual de cerca de três milhões toneladas/ano no Brasil. As indústrias do setor siderúrgico têm altos custos com transporte, operação e locação de aterros industriais para esse resíduo. O objetivo deste trabalho foi viabilizar estudos para utilização desse resíduo industrial e avaliar sua utilização como agregado miúdo e utiliza-lo nos traços de concreto em substituição a areia natural. Ensaios de granulometria, umidade, massa específica no resíduo industrial foram feitos para caracteriza-lo nos traços de concreto produzidos. Foram realizados testes de resistência à compressão mecânica nos corpos de prova confeccionados e análise de microscopia óptica. Os resultados foram satisfatórios, com exceção

¹ Técnico em Química pelo Colégio Seletivo Mogi Guaçu SP, Técnico em Instrumentação e Controle de Processos pelo Senai Zerbini Campinas SP, Graduando em Química Industrial pelas Faculdades Integradas Maria Imaculada (FIMI),

² Graduado em Química Industrial pelas Faculdades Integradas Maria Imaculada (FIMI).

³ Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia, Mestrado e Doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (2008), na área de concentração, ciência e tecnologia de materiais. Experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em polímeros, compostos e nanocompósitos poliméricos

⁴ Técnico em mecatrônica pelo colégio São Francisco Mogi Guaçu, SP e graduando em Projetos mecânicos pela FATEC Artur de Azevedo em Mogi Mirim, SP.

⁵ Graduação em engenharia civil pela escola de engenharia de São Carlos (1975). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Civil, doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

na formulação C que utilizou 100% da ADF no traço, que obteve 9,99 Mpa no teste de resistência a compressão mecânica, as demais formulações, A, B, D e E atingiram resultados semelhantes ou superiores a formulação padrão STD que atingiu no teste de compressão mecânica um valor de 16,4 MPa.

Foi verificado uma mistura ótima de 10% de ADF no concreto

Palavras chave: Areia de descarte de Fundição. Material compósito. Resíduos industriais.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de fundição possui grande importância na economia mundial e brasileira. O Brasil é o sétimo produtor mundial de fundidos, com uma produção anual de cerca de três milhões de toneladas, empregando cerca de 64 mil trabalhadores, este setor da indústria produz bens intermediários, sendo seus principais clientes o setor automotivo e de eletrodomésticos (PINTO, 2013).

O processo de fundição consiste na fusão de um metal que, em estado líquido, é vazado em um molde, e ao solidificar-se gera uma peça com o formato desejado. Dependendo do tipo de metal vazado, as fundições são classificadas em ferrosas e não-ferrosas (alumínio, cobre, latão, bronze). A produção brasileira concentra-se em ligas ferrosas correspondendo a 90% dos fundidos produzidos (GHILLEN et al., 2014).

Os moldes para a confecção das peças são fabricados com areia base adicionada em maior quantidade, aglomerantes e aditivos. As areias utilizadas são as de sílica, zirconita ($ZrSiO_4$) ou cromita ($FeCr_2O_4$) e sua granulometria ideal irá depender do tipo de material processado, das dimensões geométricas, e peso das peças a serem produzidas. Os aglomerantes, como a argila bentonita e a farinha de milho gelatinizado, conhecido como mogul, tem como objetivo melhorar as propriedades mecânicas do molde, e os aditivos carbonáceos são utilizados na mistura com objetivo de suprir algumas necessidades específicas e fundamentais, tais como, melhorar a colapsibilidade do molde, reduzir as aderências modelo/molde e peça/molde e evitar o escape do metal vazado, e enfim, a água é empregada no processo para conferir plasticidade e homogeneidade à mistura (PABLOS; SICHIERI; IZELI, 2009).

A areia do processo de fundição pode ser utilizada, mas de forma limitada, pois a cada etapa concluída, impurezas agem sobre ela, contaminando-a e inviabilizando sua utilização no processo (PINTO, 2013).

A indústria de fundição é considerada uma atividade altamente poluidora em função dos grandes volumes de resíduos sólidos gerados, sendo a areia descartada de fundição (ADF) com o descarte anual de três milhões de toneladas ao ano o principal deles (ADEGAS et al., 2007).

Segundo Brondino, somente 22% dos resíduos industriais gerados possuem a destinação correta, 16% desses resíduos são depositados em aterros enquanto 5% são co-processados e somente 1% incinerados. O restante 78%, são despejados diretamente na natureza de maneira irregular.

Os resíduos sólidos segundo ABNT 10004 de 2004, bem como a resolução da Conama nº 313 de 2002, são substâncias resultantes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comercial e agrícola (PABLOS, 2008).

De acordo com a Lei Federal nº 12.305 de 2010, que instituiu a política nacional dos resíduos sólidos, em seu artigo 3º, inciso XVI, os resíduos sólidos são considerados qualquer substância, objeto ou bem descartado oriundo de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe ou propõe proceder ou se está obrigado à proceder, nos estados sólidos ou semi sólidos (PABLOS, 2008).

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, do Estado de São Paulo, em decisão de diretoria nº 152 de 08 de agosto de 2007, publicou um documento intitulado “ Procedimentos para Gerenciamento de Areia de Fundição”, no qual classifica a areia de descarte de fundição como classe II-A ou II-B, como não perigoso e não inerte e não perigoso e inerte, respectivamente de acordo com a norma ABNT NBR 10004/2004 (PABLOS; SICHIERI; IZELI 2009).

O principal destino das areias de fundição são os aterros de descarte industrial, que acarretam altos custos com transporte, manutenção, operação dessas áreas além de uma crescente preocupação ambiental pois os aterros acarretam no aumento da desertificação da área, reduzindo o espaço de áreas produtivas habitáveis e de preservação (CARNIN, 2010).

A reciclagem é apontada em vários estudos como a solução ou ao menos uma possibilidade de minimizar o grave problema enfrentado pelo setor da indústria de fundição, como sua utilização em pavimentação asfáltica, obras de terraplanagem, material sub base em pavimentação e fabricação de cimento Portland e consequentemente a redução da extração de jazidas de areias que são limitadas e causam impactos ambientais (PABLOS, 2008).

De acordo com estudos realizados por Ghisleni e colaboradores (2014) a mistura da areia de descarte de fundição com a areia fina para a produção de artefatos de concreto para a construção civil é viável, possuem desempenho satisfatórios aos dos concretos convencionais, porém devido as diferenças de tamanhos das partículas e alguns resíduos da areia provenientes do processo de fundição a mistura perde em homogeneidade, e em consequência algumas propriedades físicas como a absorção de água, resistência mínima e resistência à compressão coaxial são afetadas (SAVASTANO, 2000).

A indústria da construção civil emprega no Brasil cerca de três milhões de pessoas e é responsável por cerca de 6% do PIB no país, porém é um setor da indústria que consome cerca de 40% dos recursos naturais existentes, como por exemplo, areias naturais extraídas de jazidas, resultando em impacto ambiental pela desertificação de áreas e uma enorme geração de resíduos, cerca de 25% dos resíduos gerados pela indústria (IZQUIERO, 2011).

O cimento, um insumo utilizado pela indústria civil pode ser definido como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer que por sua vez é obtido da calcinação de clínquetização da mistura de calcário e argila. É um material com propriedades adesivas e coesivas e quando misturado com água é capaz de aglomerar fragmentos de minerais entre si, como areia natural extraídas de jazidas, formando assim um material compósito (MARCOS A.S.; BARBOZA N.P.; GHAVAMI K, 2014).

Isto é possível pela reação química chamada de hidratação do cimento. Misturado com água gera produtos secundários Tabela 1, que possuem propriedades de adesão e coesão na argamassa (PABLOS, 2008).

Tabela 1 - Compostos Químicos Formados à Partir da Hidratação do Concreto.

Nome do Composto	Abreviação
Silicato Tricalciso	C3S
Silicato Dicalcico	C2S
Aluminato Tricalcico	C3A
Ferroaluminato tetracalcico	C4AF

Segundo Pablos (2008), em termos gerais, pega refere-se à mudança do estado fluido para um estado rígido. Endurecimento refere-se ao aumento de resistência de uma pasta de cimento após a pega.

Na presença de água, os silicatos e os aluminatos apresentados na tabela acima formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente (IZQUIERO, 2014). A hidratação dos aluminatos (C_3A e C_4AF) na presença do gesso adicionado na fabricação do cimento – resulta na formação de estriguetas que assumem formas de agulhas e começam minutos após o início da hidratação, sendo estas responsáveis pelo fenômeno da pega (PABLOS, 2008).

A hidratação dos silicatos se dá algumas horas após o início da hidratação do cimento. A hidratação do C_3S e C_2S origina silicatos de cálcio hidratados que possuem composição química muito variada e são representados genericamente por C-S-H e hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, compostos que preenchem o espaço ocupado previamente pela água e pelas partículas de cimento em dissolução. Os cristais de C-S-H formados são pequenos e fibrilares e o $Ca(OH)_2$ forma grandes cristais prismáticos (IZQUIERO, 2011).

Segundo ADEGAS (2007), as fases dos silicatos e dos aluminatos hidratados começam a criar algumas ligações interpartículas, que resulta no endurecimento progressivo da pasta. Após algumas horas, ocorre a redução da velocidade à reação. Isto deve-se ao fato de alguns grãos de cimento que não reagiram estarem cobertos por uma camada de hidratos (que se torna cada vez mais espessa com o passar do tempo), camada esta que dificulta as moléculas de água chegarem às partes não hidratadas. O produto resultante é pouco solúvel na água não agressiva, como se confirma pela estabilidade da pasta de cimento hidratada em contato com a água.

Desta forma, pode-se verificar que o tempo de início de pega (quando se inicia o endurecimento) deve ser visto e respeitado com muito rigor. A partir deste momento, tanto as agulhas formadas na reação com os aluminatos como os cristais gerados na reação com os silicatos serão prejudicados se o concreto for manuseado após este tempo (PABLOS, 2008).

Outro detalhe importante é a hidratação do cimento, particularmente em concretos de altas resistências com grandes consumos. O uso de aditivos superplastificantes e relações água/cimento bem baixas fazem com que a quantidade de água do traço seja pequena. Muitas vezes, já na quantidade mínima apenas para a hidratação, uma vez que a trabalhabilidade está garantida pelo aditivo. Neste caso, o

cuidado a ser tomado é que a cura seja prolongada e evite a perda rápida de água, que aqui, é justamente a água da hidratação. Desta forma, não se corre o risco de ter parte do cimento apenas como material inerte, embora o não aparecimento de fissuras esteja garantido pela alta resistência já nas primeiras idades (ISQUIEZO, 2014).

O objetivo do presente trabalho foi viabilizar estudos para utilizar resíduo industrial e avaliar sua utilização como agregado miúdo, substituindo a parcela de areia natural na construção civil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de resíduo industrial foram coletadas na metalúrgica Imbil na cidade de Itapira, no estado de São Paulo. Nesta empresa são fabricados bombas para diversos setores da indústria, como a petroquímica, tratamento de água e efluentes e açúcar e álcool.

Foram realizados ensaios de granulometria no resíduo para comparar sua compatibilidade com a areia natural utilizada nas formulações, foi realizado ensaio de umidade deste resíduo e também ensaio de massa específica.

A amostra padrão STD foi preparada em 20 litros seguindo norma ABNT NBR 5738 (2007), esta foi utilizada para a comparação dos testes realizados com os corpos de prova produzidos Tabela 2.

Tabela 2 - Composição dos Corpos de Prova de Concreto para a realização dos testes de Compressão Mecânica.

FORMULAÇÕES	STD	A	B	C	D	E
Cimento CP II e 40 (Kg)	5,26	5,26	4,997	5,26	5,26	4,997
Areia Média (kg)	6,46	6,46	6,46	6,46	6,46	6,46
Areia Fina (kg)	9,7	8,73	8,73		7,76	7,76
Brita 1 (kg)	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56	19,56
Brita 0(kg)	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44
Água (L)	2,5	2,7	2,7	2,9	2,7	2,7
Resíduo Industrial (kg)		0,97	0,97	9,7	1,94	1,94
Gesso (g)			263			263

Para cada formulação foram feitos teste de Slump, e então confeccionados 3 corpos de provas para teste de resistência à compressão mecânica realizados aos de 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura após sua fabricação segundo norma estabelecida.

Após os 28 dias de cura foram realizados análise de microscopia óptica para verificar a adesão dos corpos de prova confeccionados.

2.1 Ensaios de Análise Granulométrica.

O ensaio de granulometria dos agregados miúdos, (areia fina e areia de descarte de fundição) foram realizados por ensaio de peneiramento conforme os procedimentos contidos na ABNT NBR NM 248(2001).

O teste de granulometria permite calcular a porcentagem retida do material por meio da pesagem da amostra que ficou retida na tamis utilizando balança analítica Marte mod 20ki, e com esse dado foi possível calcular a porcentagem que passou, realizando uma subtração do total da amostra menos a quantidade retida. Também foi calculado a porcentagem acumulada que a soma do peso total da amostra menos a quantidade retida na peneira.

2.2 Ensaio de Teor de Umidade

O teor de umidade do resíduo industrial foi determinado pela diferença de massa pesada em uma balança analítica Marte mod. MS 20K1 antes e após a secagem das amostras em triplicata em uma estufa de secagem Famem mod. 315 SE à 110°C por 12 horas.

2.3 Ensaio de Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca.

Os ensaios de massa específica dos agregados (areia natural e o resíduo industrial foi realizado segundo norma NBR NM 52, utilizando o frasco de CHAPMAN e balança analítica Marte mod. MS 20K1.

Partículas do agregado que culminaram suas possibilidades de absorver água mantém a superfície seca (NBR NM 52).

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (1)$$

Em que d_2 é a massa específica do agregado saturado com superfície seca em gramas por centímetro cúbico, m_s é a massa da amostra na condição saturada na superfície seca em gramas, V é o volume do frasco em centímetros cúbicos e V_a é o volume de água adicionado o frasco em centímetros cúbicos.

2.4 Ensaio das Propriedades do Concreto no Estado Fresco

A trabalhabilidade do concreto foi avaliada por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Teste), conforme ABNT NBR NM 67 (ABNT, 1998). O abatimento foi estabelecido como uma variável controlada, fixado na faixa de 80mm +/- 10mm.

Os traços das 6 formulações dos concretos na Tabela 2 foram produzidos na betoneira CS 120 mod cs 120 V, sendo que em cada batelada foi retirado uma amostra para a realização do teste slump.

Para cada 1/3 da formulação de concreto fresco inserido no trombone forma dados 25 golpes com uma haste de metal para homogeneização da amostra segundo norma NBR NM 67. Em seguida o concreto foi desmoldado do trombone e anotado o valor de abatimento do concreto em milímetros.

2.5 Resistência à Compressão.

O ensaio de resistência à compressão mecânica foi realizado no laboratório de Engenharia Civil das Faculdades Integradas Maria Imaculada, utilizando uma prensa hidráulica Fostest 100 MPA, Mod – 2030. Para o ensaio foram confeccionados três corpos de prova de cada formulação descritas na Tabela 2, onde foram rompidos um corpo de prova de cada formulação nos determinados dias de cura do concreto, 7 dias, 14 dias e 28 dias.

Os ensaios realizados foram realizados conforme os procedimentos da NBR 7215 (ABNT, 2007) para ensaios de compressão de corpos de prova.

2.6 Microscopia

O ensaio de microscopia óptica foi realizado no Laboratório de Materiais da FATEC Arthur de Azevedo de Mogi Mirim. Foi utilizado o microscópio óptico AxioVertA1 e software Axioversion para a realização dos ensaios. Os Corpos de prova foram cortados em 20 mm de altura e posteriormente lixados para sua utilização no equipamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaios de Granulometria dos Agregados Miúdos e Teor de Umidade do Resíduo Industrial.

Foi possível caracterizar os agregados miúdos (areia fina e areia de descarte de fundição) através da análise de granulometria, que consiste no peneiramento do material através de um conjunto de tamis “peneiras” padronizadas.

Nas tabelas 3 e 4 será possível identificar a distribuição granulométrica dos agregados miúdos, areia fina e areia de descarte de fundição respectivamente e representa-los através da curva granulométrica (Figura 6).

Os ensaios de granulometria foram realizados no laboratório de Engenharia Civil das Faculdades Maria Imaculada e o objetivo deste ensaios foi de verificar a distribuição granulométrica através dos dois agregados miúdos utilizados na formulação dos corpos de provas de concreto conforme norma ABNT NBR 248 (2001).

Tabela 3 – Ensaio de Granulometria da Areia Fina.

Granulometria da Areia Fina					
Massa da Amostra Total Seca = 1000 g					
Peneiras	grãos (mm)	Peso inicial (g)	% Retida	% Acumulada	% Que passa
3/8	9,5	0	0	0	100
4	4,76	7,7	0,77	0,77	99,23
8	2,38	62,4	6,24	7,01	92,99
10	2	19,7	1,97	8,98	91,02
18	1	114,6	11,46	20,44	79,56
30	0,59	174,8	17,48	37,92	62,08
40	0,42	71,5	7,15	45,07	54,93
50	0,297	141	14,1	59,17	40,83
100	0,149	321,8	32,18	91,35	8,65
200	0,074	67,4	6,74	98,09	1,91
Diâmetro máximo = 9,5 mm			Material Pulverulento = 1,99 %		

No que diz respeito ao ensaio da areia fina nota-se que não houve nenhum diâmetro de peneira que reteve quantidade significativa da amostra, somente a peneira 0,149 obteve uma maior retenção com 32,18%, constatando uma maior heterogeneidade da amostra. Obteve um índice de materiais pulverulentos “impurezas” de 1,99%.

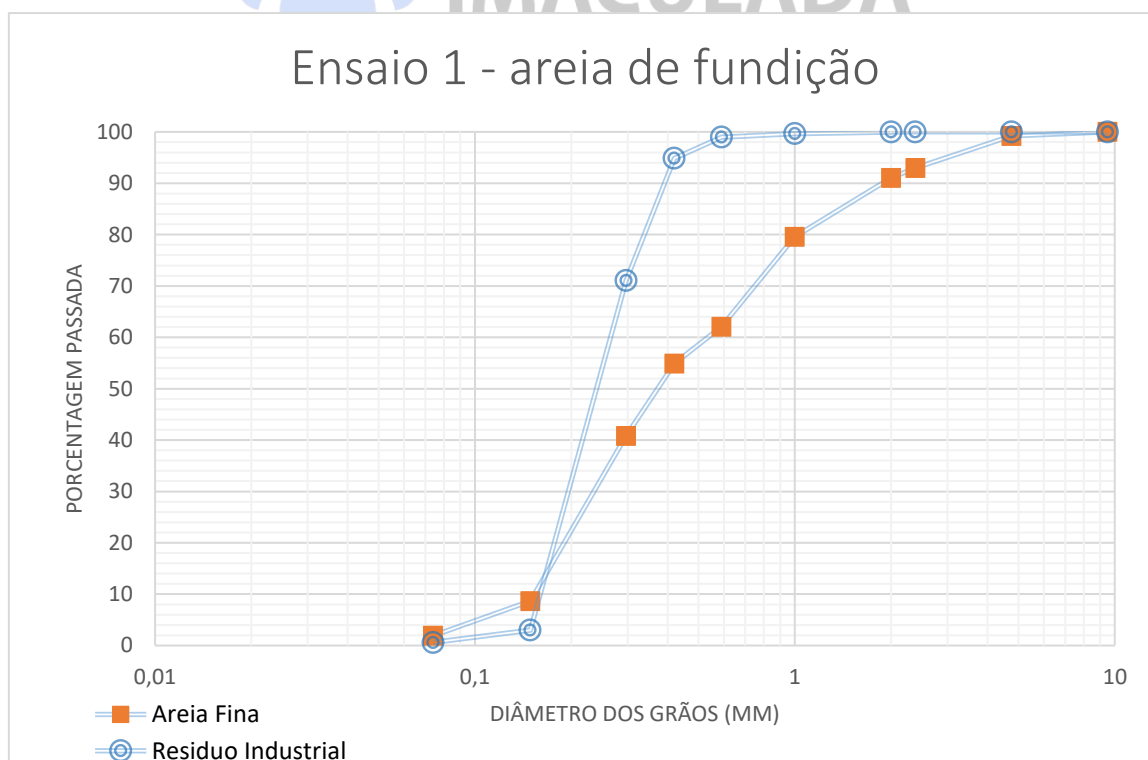
Diferentemente com os dados do teste realizado no resíduo na Tabela 4, 68,06% da amostra ficou retida na peneira de malha 0,149 mm, demonstrando assim uma maior homogeneidade e menor diâmetro dos grãos. E obteve um índice de materiais pulverulentos, ou seja, impurezas de cerca de 0,99%.

Tabela 4 – Ensaio de Granulometria da Areia de Descarte de Fundição
Granulometria da Areia de Descarte de Fundição

Massa da Amostra Total Seca 1000 g					
Peneiras	grãos (mm)	Peso inicial (g)	% Retida	% Acumulada	% Que passa
3/8	9,5	0	0	0	100,00
4	4,76	0	0	0	100,00
8	2,38	0,01	0,001	0,001	99,999
10	2	0,3	0,03	0,031	99,97
18	1	3,1	0,31	0,341	99,66
30	0,59	6,7	0,67	1,011	98,99
40	0,42	41,2	4,12	5,131	94,87
50	0,297	238	23,8	28,931	71,07
100	0,149	680,6	68,06	96,991	3,01
200	0,074	24	2,4	99,39	0,61
Diâmetro máximo = 9,5 mm			Material Pulverulento =		0,99%

Na figura 1 é representado as curvas granulométricas da areia fina e da ADF.

Figura 1- Curva Granulométrica dos Agregados Miúdos



Fonte - AUTORES, 2017

De acordo com os ensaios realizados a amostra de areia fina é mais adequada para o setor da construção civil em comparação com o resíduo industrial, pois sua granulometria é mais heterogênea, e assim, ocupa melhor os espaços vazios na

composição do concreto, diminuindo a porosidade do traço e assim contribuindo para a redução da absorção de água e assim viabilizando custos, pois utilizará menos cimento e também ocorrerá um aumento na resistência do material (PABLOS, 2014).

3.2 Ensaio do teor de umidade do resíduo industrial para a formulações dos corpos de prova.

Na tabela 5 estão representados os resultados do teor de umidade do resíduo industrial realizado em triplicata.

Tabela 5.- Ensaio de Umidade da Areia de Descarte de Fundição.

Umidade do Resíduo				
(nº)	Cápsula (g)	Massa Úmida (g)	Massa Seca	Resultado em (%)
6	19	18,6	2,15	
45	19,21	19,11	0,52	
106	17,77	17,68	0,51	

Dos resultados obtidos em teores de umidade do resíduo industrial para o preparo do concreto, constatou-se que após realizado a secagem na estufa, o material apresentava-se com baixa umidade, podendo ser caracterizado com uma média relativa de teor de umidade no resíduo de 1,06% (Tabela 5), o que caracteriza uma baixa absorção de água pelo resíduo, fazendo que o resíduo tenha um comportamento de barreira para água na formulação e assim diminuir a homogeneização do traço e prejudicar a absorção de água pelo concreto (GHISLENNI, 2014).

3.2. Ensaio de Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca.

3.2.1 Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca.

Partículas do agregado que culminaram suas possibilidades de absorver água mantém a superfície seca (NBR NM 52)

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (2)$$

Em que d_2 é a massa específica do agregado saturado com superfície seca em gramas por centímetro cúbico, m_s é a massa da amostra na condição saturada na superfície seca em gramas, V é o volume do frasco em centímetros cúbicos e V_a é o volume de água adicionado o frasco em centímetros cúbicos.

Nos dois ensaios realizados com a areia de descarte de fundição foi verificado uma massa específica de $2,155 \text{ g/cm}^3$ e $2,370 \text{ g/cm}^3$, enquanto que nos dois ensaios feitos na areia fina foram alcançados resultados de $2,625 \text{ g/cm}^3$ e $2,604 \text{ g/cm}^3$.

Com a massa específica menor em comparação com a areia fina, a areia de descarte de fundição possui uma menor resistência mecânica em comparação com a areia natural, podendo acarretar perdas das propriedades mecânicas do concreto (Izquiero, 2011).

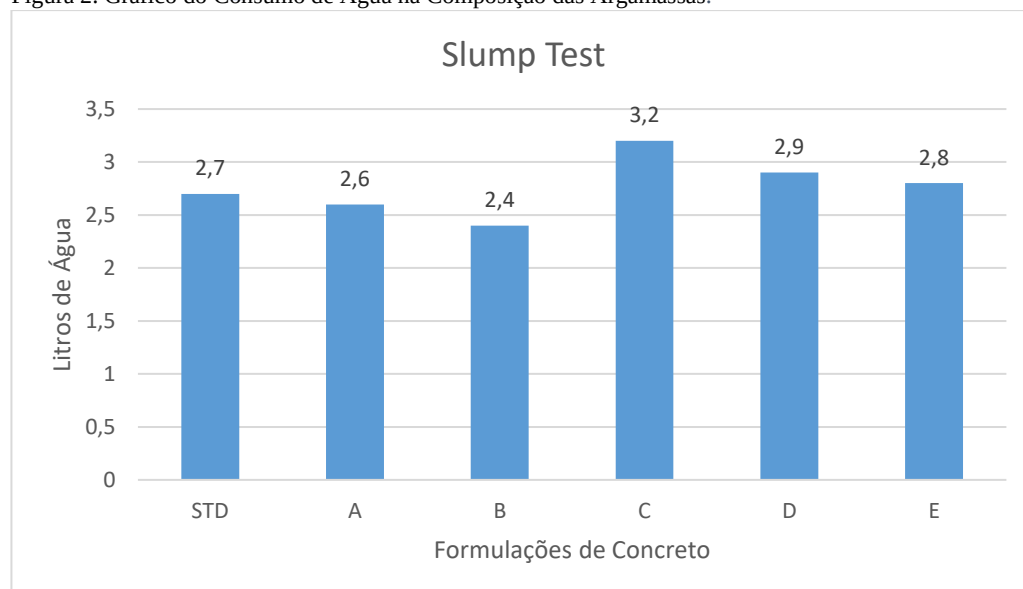
3.4 Teste de Slump Cone.

Foi adotado o mesmo padrão de abatimento do concreto para todas as formulações do teste, sendo adotado o slump de $\pm 80\text{mm}$. Este parâmetro é importante, pois define a trabalhabilidade do concreto fresco.

Em cada batelada foi adicionado a quantidade de água potável correta para a padronização do slump.

Foi verificado na formulação C, que utilizou o resíduo industrial em substituição à areia fina no traço na sua totalidade o maior consumo de água para a padronização do slump cone, sendo utilizado 3,5 litros de água para um aumento de 40 % em relação a amostra padrão STD. Também foram constatados maiores consumos de água nos traços A, B, D e E em 12%, 4%, 20% e 16% respectivamente, onde em todos os traços utilizaram-se da areia de descarte de fundição em substituição à areia fina em porcentagens de 10% e 20%.

Figura 2. Gráfico do Consumo de Água na Composição das Argamassas.



Fonte - AUTORES, 2017

Os resultados do ensaio de Slump Teste, estão apresentados na Figura 2, onde pode-se verificar um aumento do consumo de água para a padronização do traço do

Slump na composição dos traços A, B, C, D e E, com adição de areia de descarte de fundição em substituição à areia fina natural no traço de concreto.

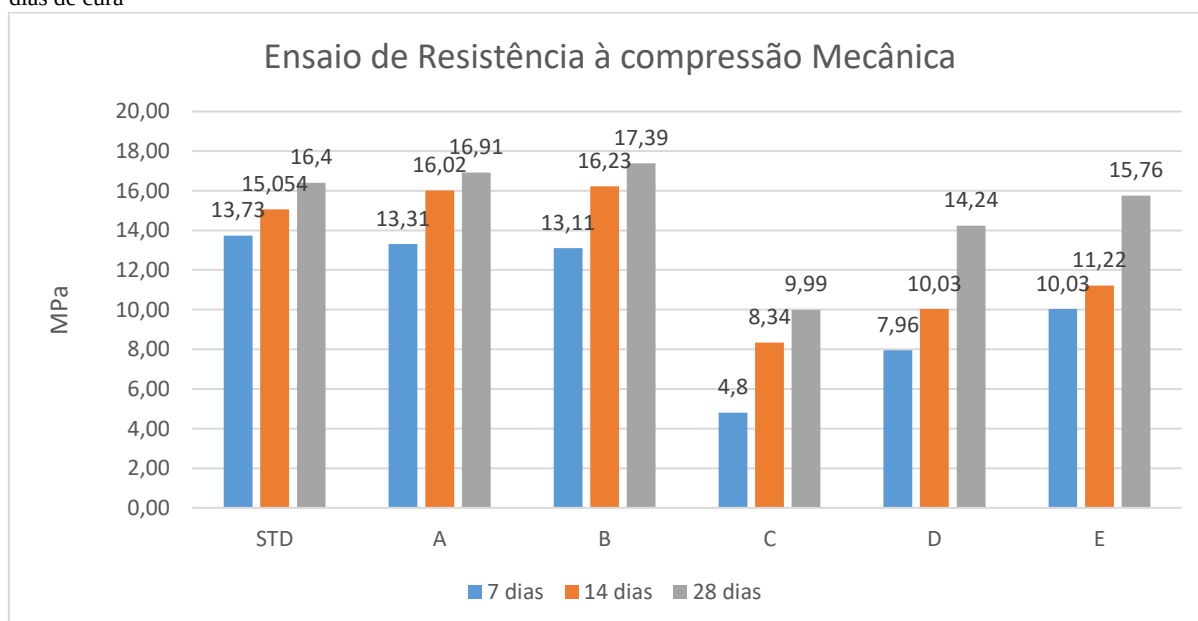
Houve um pequeno incremento na coesão e consistência, com a adição do resíduo industrial. O efeito das pequenas partículas da areia de descarte de fundição difundidas pelas misturas atua como uma barreira física para o movimento ascendente da água, causando a diminuição da exsudação oque pode ser a causa da dificuldade de homogeneização da mistura (PINTO, 2013)

O gesso incorporado nas formulação B e E, produzidos com 10% e 20% de areia de descarte de fundição foi determinante para a redução de consumo de água nos traços em relação aos traços A e D que também utilizaram 10% e 20% respectivamente de ADF na formulação, porém sem a utilização do gesso . Segundo Izquiero, o gesso incorporado às argamassas diminui a rigidez das mesmas e permitem a acomodação das movimentações intrínsecas à alvenaria, favorecendo a trabalhabilidade, idenpedentemente das modificações das demais propriedades.

3.5 Resistência à Compressão Mecânica

Os ensaios de resistência à compressão mecânica representados na Figura 3, foram realizados aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura segundo norma ABNT NBR 7215 (2007).

Figura 3 - Ensaio de Resistência à Compressão Mecânica Realizados nos Corpos de Prova aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura



Fonte - AUTORES, 2017

A formulação padrão STD foi formulada com areia natural e apresentou uma resistência de 16,4 Mpa aos 28 dias de cura.

As formulações que obtiveram melhores desempenho no ensaio de resistência à compressão mecânica aos 28 dias de cura em relação ao traço STD, foram as formulações A com 16,91 MPa e B 17,39 MPa.

As formulações que apresentaram um resultado inferior ao traço STD aos 28 dias de cura para o ensaio de resistência à compressão mecânica, foram os traços C, D e E com 9,99 MPa, 14,24 MPa e 15,76 MPa respectivamente.

Foi verificado na Figura 3 em todas as formulações um aumento na resistência à compressão mecânica durante os intervalos de 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura, isto se deve ao fato da influência direta do tempo na cura do concreto (GHISLENI, 2014).

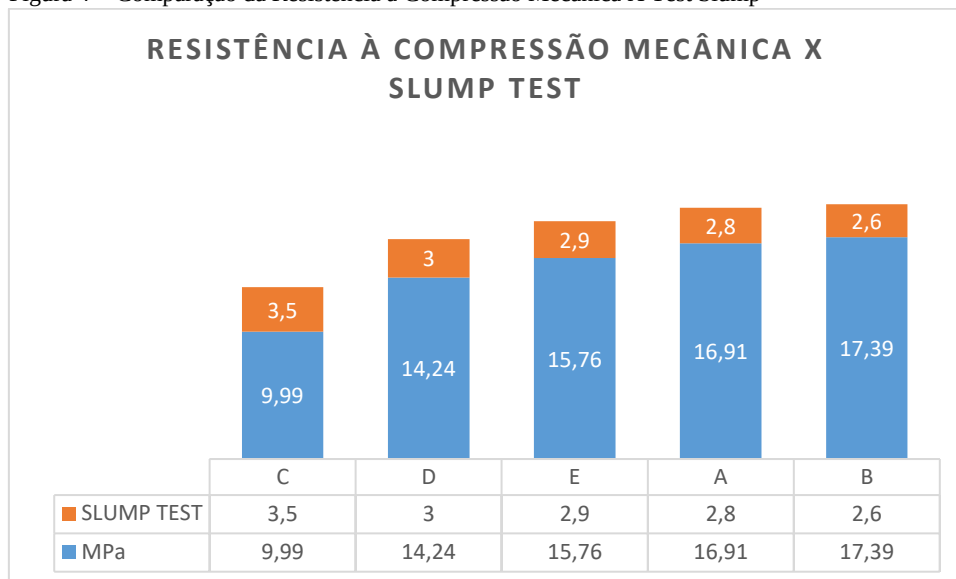
. O traço A e B foram produzidos com 10% de areia de descarte de fundição em substituição ao agregado miúdo, mas a formulação B ainda obteve e sua formulação a adição do gesso substituindo 5% da massa do cimento.

A formulação C obteve o pior desempenho no ensaio com 9,99 Mpa aos 28 dias de cura, sendo este traço produzido com 100% da areia de descarte de fundição como agregado miúdo no traço substituindo a areia fina.

As formulações D e E produzidas com 20% de areia de descarte de fundição substituindo a areia fina aos 28 dias de cura obtiveram resultados no ensaio ligeiramente inferiores ao STD a formulação D com 14,24 Mpa e a E com 15,76 MPa.

Acredita-se, ao relacionar os valores de resistência à compressão do concreto a de absorção de água Figura 4, haverá um decréscimo do valor da primeira variável em função do aumento da segunda variável devido ao aumento da porosidade do concreto, e assim, aumentando os espaços vazios e diminuindo a resistência do material (PINTO, 2013). Outro ponto a ser destacado para a redução da resistência a compressão mecânica são as partículas de ADF difundidas pela mistura que atuam como uma barreira física para o movimento ascendente da água, causando a diminuição da exsudação o que pode ser a causa da dificuldade de homogeneização da mistura (GHISLENI.,2014).

Figura 4 - Comparação da Resistência à Compressão Mecânica X Test Slump



Fonte - AUTORES, 2017

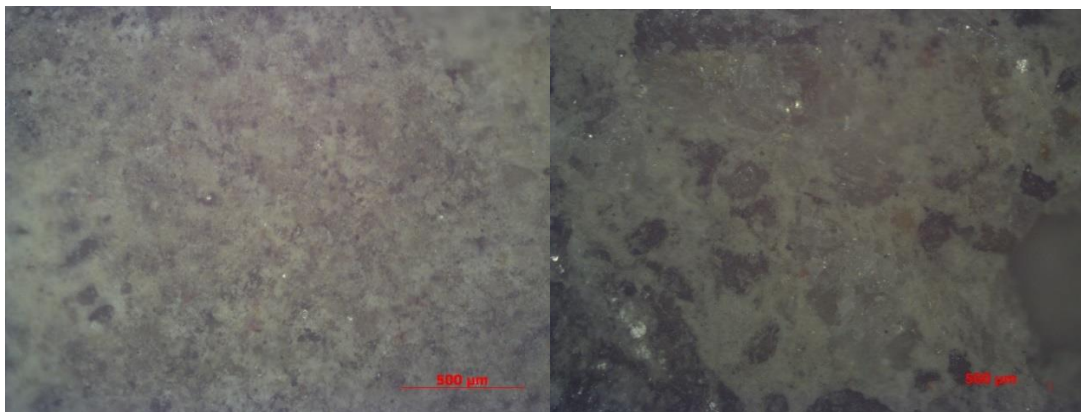
Na figura 4 estão correlacionados os resultados dos ensaios de compressão mecânica com os ensaios de teste de slump, com os corpos de provas que utilizaram em sua formulação o resíduo industrial. Os resultados corroboram com as mencionadas por Pinto (2013).

Os resultados do ensaio de resistência à compressão mecânica foram equivalentes aos preconizados por Ghislani (2014) indicaram que a adição da areia de descarte de fundição em substituição à areia natural levou a redução no desempenho da resistência e densidade e também aumentou a absorção de água pelo concreto. No entanto, o concreto com até 20% de resíduo apresenta resultados satisfatórios em relação ao concreto padrão (PINTO 2013). O que foi observado no presente estudo.

3.6 Ensaio de Microscopia Óptica.

Na figura 5 estão as fotos os traços de concreto STD (esquerda), e o traço de concreto produzido em sua totalidade com areia de descarte de fundição (direita) em substituição à areia fina natural.

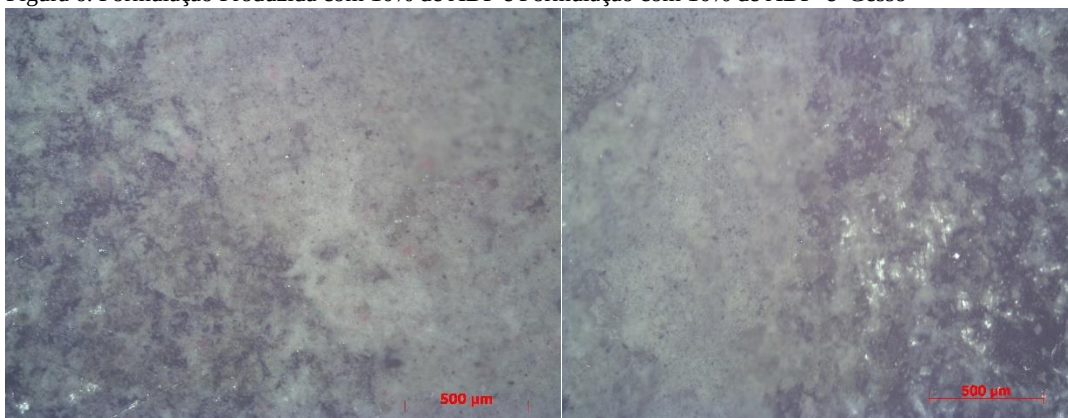
Figura 5. Formulação STD e Formulação de Concreto produzido com resíduo industrial aumentada em 50 vezes



Fonte - AUTORES, 2017

Na figura 6 estão as fotos os traços de concreto produzido com 10% de areia de descarte de fundição (esquerda), e o traço de concreto produzido com 10% de areia de descarte de fundição mais adição do gesso(direita) .

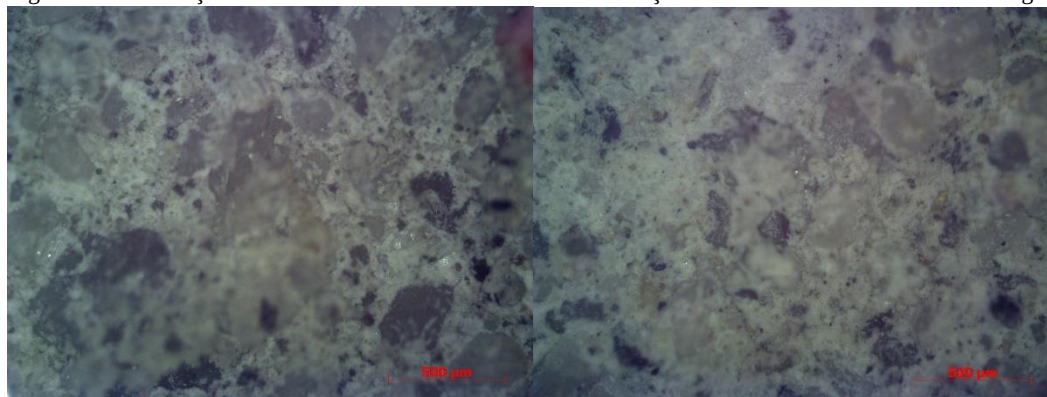
Figura 6. Formulação Produzida com 10% de ADF e Formulação com 10% de ADF e Gesso



Fonte - AUTORES, 2017

Nas fotos da figura 7 estão os traços produzidos com 20% de areia de descarte de fundição (esquerda) e o traço produzido com 20% de areia descarte de fundição com adição do gesso.

Figura 7 – Formulação Produzida com 20 % de Resíduo e Formulação Produzida com 20% de Resíduo e gesso



Fonte - AUTORES, 2017

No ensaio de microscopia optica foi observado nas figuras 5, 6 e 7, uma boa adesão dos componentes que compõem os traço da argamassa, isto é, a homogenização entre os agregados miúdos (areia fina, areia média) e agregados graúdos (brita 0 e brita 1).

Segundo Ghislenni afalta de adesão, como mostrado na figura 5 à direita que foi produzido com resíduo industrial substituindo a areia fina natural do traço, diminui a homogeneidade e assim aumentam fissuras que ocasionam à perda de propriedades mecânicas do traço, como a resistência a compressão mecânica, absorção de água.

4. CONCLUSÃO.

O objetivo do trabalho foi de preparar corpos de provas de concreto à partir da areia de descarte de fundição (ADF), este que é um resíduo sólido significativo da industria metalúrgica. Foram produzidos 6 formulações diferentes, sendo que as formulações A e B formuladas com 10% do resíduo apresentaram resultados superiores nos ensaios de resistência à compressão mecânica comparados com a amostra controle com 16,91 Mpa e 17,39 Mpa respectivamente aos 28 dias de cura do concreto segundo norma ABNT NBR 5738 (2007), as formulações D com 14,24 MPa e E com 15,76 Mpa apresentaram resultados ligeiramente inferiores ao controle STD nos ensaios de resistência a compressão mecânica, e a formulação C produzido com 100% de ADF em substituição à areia fina na formulação do concreto obteve o pior resultado no ensaio com 9,99 Mpa aos 28 dias de cura do concreto. Foram realizados ensaios de microscopia óptica nos corpos de prova e com excessão da formulação C foi constatado uma boa coesão e adesão dos agregados nas formulações.

Também foram realizados ensaios de granulometria, densidade específica, teor de umidade para a caracterização da areia de descarte de fundição.

No presente trabalho foi verificado uma mistura ótima de 10% do resíduo industrial na produção de concreto em substituição à areia fina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGAS, G. Perfil Ambiental dos Processos de de Fundição Ferrosa que Utilizam Areias no Estado do Rio Grande do Sul. 2007. f 120. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11199> > Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais > Acesso em 05 maio 2017.

BRONDINO, O.C. O problema do Descarte da Areia de Fundição. In: CONGRESSO INTERNO ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 42., 2014, Juiz de Fora. *Resumos....* Juiz de Fora: Instituto de Engenharia de Materiais da universidade de Londrina, 2014. p 12.

CARNIN, R.L. ;; POZZI, R.J. ; SILVA, C.O. Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado Revista Pavimentação, Rio de Janeiro, Ano V, outubro de 2010. Disponível em < http://www.tupy.com.br/downloads/guesser/Desen_Artefatos_Pavers_AreiaDesc_Fund.pdf > Acesso em 01 maio 2017.

GHISLENI, G. Estudo da Viabilidade na Reutilização de Areia de Descarte de Fundição no Processo de Blocos de Concreto. 2014. 112 f. Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Ijuí, 2014. Disponível em < <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/2936> > Acesso em 01 maio 2017.

SALVASTANO JUNIOR, H. Materiais com Fibra de Cimento Reforçados com Fibra Vegetal: Reciclagem de Resíduos para a Construção de Baixo Custo. 2000. 51 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-08102007.../pt-br.php> > Acesso em 21 abr. 2017.

IZQUIERDO, I.S. Uso da fibra natural de Sisal nos Blocos de Concreto para Alvenaria Estrutural. 2011. f 146. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-05042011-164738/pt-br.php> > Acesso em 19 abr. 2017

MARCOS A.S.; BARBOZA N.P.; GHAVAMI K. Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz,

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande/PB, v.7, n.2, p.346-349, 2003 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662003000200027 > Acesso em 18 abr 2017.

PABLOS; J.C. Reutilização do Resíduo sólido industrial, constituído por areias de fundição na confecção de tijolos maciços e peças decorativas. 2008. f 146. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em < <http://www.revistas.usp.br/risco/article/view/44784> > Acesso em 08 abr. 2017.

PABLOS J.M; SICHIERE E.P.; IZELI R.L. Reutilização de resíduo sólido industrial, constituído por areias de fundição, na fabricação de tijolos maciços e peças decorativas. Revista de Pesquisa de Arquitetura e Urbanismo, São Carlos, SP, v. 10, n.2, p. 118-125,2009. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.11606/issn.1984-4506.v0i10p112-125> > Acesso em 09 abr. 2017.

PINTO, F.B. O Uso da areia Descartada de Fundição Na Produção de Concreto. 2013. f 84 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, Itajubá, 2013. Disponível em <<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0043898.pdf> >. Acesso em 05 abr. 2017.

