

Análise da Substituição Parcial de Areia Natural por Areia de Fundição na Manutenção das Características do Concreto Usinado

Vitória Colla de Lima¹, Douglas Francescato Bernardi²

¹ Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG / Centro de Tecnologia e Inovação / Eng^a. Civil /
vitoriacollalima@gmail.com

² Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG / Centro de Tecnologia e Inovação / Professor /
douglas.bernardi@fsg.edu.br

Resumo

As indústrias de fundição no Brasil têm apresentado uma expansão significativa nos últimos anos. Esse aumento tem levado ao crescimento do volume de areia descartada de fundição, o que resulta num maior descarte deste resíduo em aterros sanitários. Para minimizar esse impacto ambiental, diversas pesquisas têm buscado soluções para o reuso deste material. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade da substituição parcial da areia natural por areia descartada de fundição na composição do concreto usinado, mantendo as características de um concreto convencional. Para isso, foram realizados experimentos laboratoriais nos quais corpos de prova foram confeccionados com diferentes percentuais de substituição, quais sejam: 5%, 10% e 15%. Os ensaios realizados demonstraram que, com um determinado percentual de substituição da areia natural pela areia de fundição, é possível reduzir os custos com insumos sem comprometer as propriedades do concreto, que permanece similar ao concreto convencional.

Palavras-chave

Areia natural. Areia descartada de fundição. Corpos de prova. Concreto.

Introdução

Segundo dados da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2023), no Brasil, no ano de 2023 havia cerca de 859 fundições instaladas gerando aproximadamente 3 milhões de toneladas de resíduo por ano, sendo a região Sudeste a maior geradora, com a maior concentração no Estado de São Paulo. Um dado impactante é que 44,3% da produção brasileira de fundições é direcionada ao mercado automotivo. Deste modo, se a produção de carros aumenta, também ocorre o aumento na demanda de fundidos. Portanto, conclui-se que o passivo ambiental das fundições no país é preocupante (ABIFA, 2023).

Uma das principais problemáticas para as fundições, é o descarte da areia de fundição utilizada no processo, a qual ao atingir o limite de reutilização deve ser descartada em aterros industriais, devido ao excesso de contaminantes (Bhardwaj et al, 2017).

Ao destinar este resíduo para aterros industriais monitorados, acaba-se gerando um aumento do custo da fundição, visto que há o custo de transporte do resíduo (ABIFA, 2023). Atualmente, pesquisadores, empresas e universidades buscam alternativas para reuso ou ainda um destino mais adequado para este resíduo. Um dos setores com grande potencial na solução deste problema é a construção civil.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso da areia de fundição no concreto usinado convencional, como substituição parcial da areia natural, visando a sustentabilidade, preservação ambiental e economia de matéria-prima.

Areia Natural

A areia natural é considerada como um agregado miúdo, oriundo de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas. No âmbito da construção civil, a areia é utilizada principalmente como agregado para concreto, argamassa, entre outros. Um ponto relevante no preparo de argamassas e do concreto, é a granulometria e forma da areia, a qual irá determinar a redução, ou não, do consumo de cimento (Tanno et al., 2003).

Segundo a Norma Brasileira Regulamentadora 248 (ABNT, 2003), que trata da determinação da composição granulométrica dos agregados, os tipos de areia mais comumente encontrados no mercado são: areia grossa (2,0 mm – 4,8 mm), areia média (0,42 mm – 2,0 mm) e areia fina (0,05 mm – 0,42 mm).

De acordo com o Sumário Mineral publicado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2002), 90% da produção brasileira de areia é oriunda de leitos fluviais e 10% das várzeas (Lelles, 2004). É de suma importância levar em conta os impactos ambientais da atividade da extração da areia, como a geração de resíduos com particulados nos rios, desmatamento, cavas inundadas com mudança do nível freático, entre outros (Quaresma, 2009).

Areia de Fundição

Os estudos pioneiros acerca do reuso de ADF na construção civil remontam a meados da década de 70, com pesquisas focadas na reutilização em taludes e pavimentação (Emery, 1975). No início da década de 90, a Sociedade Americana de Fundição (1992) lançou o primeiro estudo completo acerca das características e possíveis usos do resíduo.

De acordo com a Resolução CONSEMA 011/2008, a ADF pode ser reutilizada nos processos de mistura asfáltica e em artefatos de concreto, os quais não terão nenhuma função estrutural. Muitos autores destacam os resultados positivos obtidos até então, com a reutilização da ADF como substituição parcial da areia natural. O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2021) reforça que o reuso de ADF na construção civil é promissor, pois contribui para a sustentabilidade além de trazer diversos benefícios econômicos para as empresas.

A ADF é composta de vários elementos, dentre eles a argila, a areia silicosa e a água que, se combinados, apresentam características perfeitas para a trabalhabilidade com a moldagem (Reshma, 2021). A areia descartada de fundição é classificada como um agregado miúdo fino e possui características físico-químicas que irão depender do processo de moldagem ao qual foi submetida.

Com a presença de materiais argilosos, algumas decorrências podem ser observadas, como o enfraquecimento da pasta e a necessidade de uma quantidade maior de água, além do retardo no processo de hidratação do cimento (Guney et al., 2010).

Existem dois tipos de areia de moldagem: a areia verde (figura 1) e a areia ligada quimicamente, estas recebem a classificação de acordo com o processo ligante utilizado. Para a confecção dos moldes, deve-se utilizar uma areia associada a argila (Coutinho Neto e Fabbri, 2005).



Figura 1 – Processo de fundição em areia verde

Fonte: Fremar (2014).

Substituição de Agregados do Concreto

De acordo com Adegas (2007), o setor de fundição no Brasil está iniciando uma nova fase, a qual visa reduzir os impactos negativos das suas atividades ao meio ambiente. Isso se dá, pelo aumento nos custos operacionais, como na etapa de produção e descarte, principalmente. Stolf (2007) menciona que em um futuro muito próximo, o reuso da areia descartada de fundição será inevitável, se for levar em consideração o aumento nos custos e a dificuldade para a realização do descarte de forma a cumprir as normas da legislação ambiental. Para a reutilização da areia descartada de fundição, as indústrias terão que investir cada vez mais em tecnologia e equipamentos para viabilizar este processo (Lopes, 2004).

Um dos setores com maior potencial para a reutilização deste material, é a construção civil, a qual pode incorporar este material em diferentes processos, o que irá reduzir os custos e contribuir com o descarte deste resíduo no meio ambiente. Pesquisadores e empresários têm analisado a possível utilização da areia descartada de fundição em concreto, além de avaliar as propriedades mecânicas do mesmo. As pesquisas apresentaram resultados promissores, um aumento considerável na resistência à compressão em mistura com até 30% de substituição, e também uma queda na trabalhabilidade (Farooq, 2014).

Nwofor (2016) realizou uma pesquisa na qual a substituição do agregado miúdo por areia de fundição, em uma faixa de 15%, é a mais adequada, a qual apresentou uma maior resistência à compressão. Porém, com uma substituição em uma faixa de 20% a 30%, aconteceu o contrário (Nwofor, 2016).

Anova

Analysis of Variance (ANOVA), ou seja, análise de variância é um método desenvolvido pelo estatístico britânico Ronald Fisher e aprimorado na década de 1940 por David Duncan, Henry Scheffé, John Tukey, entre outros. Este método testa a hipótese nula de que as médias dos grupos são iguais, contra a hipótese de que pelo menos uma das médias é diferente (Duncan, 1955).

Segundo Martins (2008), trata-se de uma técnica estatística e tem este nome devido ao procedimento de utilizar as variâncias para determinar se existem diferenças entre as médias. Os estudos referentes aos testes de médias vêm sendo destaque em pesquisas; mesmo com uma literatura muito ampla o campo ainda se encontra aberto para novas pesquisas, destaca Nogueira (2007).

O teste básico utilizado, proposto por Ronald Fisher, é conhecido como teste F, onde, segundo Fisher (1925), caso este seja maior que o F calculado, que consiste na variância entre os grupos dividido pela variância dentro dos grupos, teremos uma diferença entre os grupos analisados. O teste F irá informar apenas se existem diferenças entre os grupos e não quais são elas, por isso para identificar essa diferença é necessário fazer a comparação entre pares.

Para identificar a diferença entre os grupos, calcula-se o desvio padrão das médias e o limite de decisão, portanto se ordena as médias de forma crescente, todos os valores menores do que o limite de decisão são estatisticamente equivalentes.

Objeto de Estudo

A areia descartada de fundição utilizada neste trabalho foi gerada durante a etapa de desmoldagem, a qual foi realizada por meio de processos mecânicos após o processo de solidificação da peça, em uma indústria de Caxias do Sul/RS do ramo de fundidos para veículos comerciais e agrícolas. Posteriormente, a areia foi destinada a uma caçamba armazenada em local coberto. Dessa forma, a areia descartada de fundição não tem contato com outros resíduos, evitando sua contaminação. Após a extração, a areia foi encaminhada para um sistema de beneficiamento.

Nessa fase do processo, a areia passou por uma máquina de separação, ilustrada na Figura 2-a. O equipamento realiza várias etapas de processamento: na esteira, as partículas maiores são separadas; já na separação magnética, os componentes metálicos são removidos das misturas sólidas através da atração de ímãs, com os metais sendo destinados à reciclagem; no destorroador, ocorre a britagem

primária, realizada por dois ou três eixos dentados que giram em direções opostas, quebrando os torrões conforme passam entre eles; na segregação fina por peneira, as partículas são classificadas de acordo com seu tamanho ao serem passadas pela peneira da máquina separadora. O processo é concluído com o transporte pneumático do material para um silo fechado, equipado com um sistema automático de carregamento.

Após estes procedimentos, pode-se assegurar que a areia descartada de fundição não tem nenhum tipo de metal ou madeira em sua composição, ocorrendo assim a reciclagem da mesma. Quando a areia descartada de fundição chega ao destino final, fica armazenada em local coberto e com piso impermeável, conforme Figura 2-b, garantindo que não ocorram contaminações. Desta forma, o material fica disponível para ser utilizado no processo produtivo, ao qual se destina.



Figura 2– a. Máquina de separação, b. Local de armazenamento da areia de fundição

Fonte: Garden Projetos (2022) e autor (2024)

Ensaio de granulometria

Para a realização do ensaio de granulometria foram seguidos os procedimentos descritos na NBR NM 248 (ABNT, 2003). Foram utilizadas três areias: a areia média de origem natural (extraída de leito de rio), a areia descartada de fundição e a areia fina (extraída da cava).

Neste aspecto, realizou-se a caracterização da areia média e da areia descartada de fundição. A comparação de resultados foi feita com os limites prescritos pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Para a realização do ensaio, utilizou-se um conjunto de peneiras com determinadas aberturas de malha, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Conjunto de peneiras utilizadas no ensaio

Peneira	Porcentagem, em massa, retida acumulada		
	Areia média	ADF	Fina
9,5 mm	0,00	0,00	0,00
6,3 mm	0,00	0,00	0,00
4,75 mm	3,09	0,00	0,00
2,36 mm	11,56	0,00	0,05
1,18 mm	25,62	0,01	0,16

Fonte: autor (2024)

Na Tabela 2, pode-se observar a porcentagem, em massa, retida acumulada em cada peneira utilizada no ensaio.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica

Peneira	Porcentagem, em massa, retida acumulada		
	Areia média	ADF	Fina
9,5 mm	0,00	0,00	0,00
6,3 mm	0,00	0,00	0,00
4,75 mm	3,09	0,00	0,00
2,36 mm	11,56	0,00	0,05
1,18 mm	25,62	0,01	0,16
600 µm	50,16	0,43	10,97
300 µm	78,85	57,46	72,44
150 µm	98,55	98,70	94,63
Fundo	100,00	100,00	100,00

Fonte: autor (2024)

Estudo do traço

Após a realização do ensaio de granulometria foram definidos três percentuais de substituição da areia natural pela areia descartada de fundição, além do traço convencional (referência) de concreto, que utiliza apenas areia natural. Todos os traços possuem resistência à compressão (f_{ck}) de 35 MPa e estão detalhados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

Tabela 3 - Traço I / 5% de ADF

Material	Descrição	Massa (kg) Dosagem para 1m ³	Traço unitário (massa)	Massa (kg) Dosagem para 20L
Cimento	CPII-F40	282,0	1,00	5,64
Aglomerante 2	Cinza volante	50,0		1,00
Agregado miúdo 1	Areia industrial	380,0	1,14	7,60
Agregado miúdo 2	ADF	19,0	0,06	0,38
Agregado miúdo 3	Areia fina	361,0	0,84	7,22
Agregado graúdo 1	Brita 1 - Ø19mm	353,0	1,06	7,06
Agregado graúdo 2	Brita 0 - Ø12,5mm	656,0	1,98	13,12
Água	-	176,0	0,53	3,52
Aditivo	Plastificante	2,3	0,70%	46,48

Fonte: autor (2024)

Tabela 4 - Traço II / 10% de ADF

Material	Descrição	Massa (kg) Dosagem para 1m ³	Traço unitário (massa)	Massa (kg) Dosagem para 20 litros
Cimento	CPII-F40	282,0	1,00	5,64
Aglomerante 2	Cinza volante	50,0		1,00
Agregado miúdo 1	Areia industrial	380,0	1,14	7,60
Agregado miúdo 2	ADF	38,0	0,11	0,76
Agregado miúdo 3	Areia fina	342,0	0,80	6,84
Agregado graúdo 1	Brita 1 - Ø19mm	353,0	1,06	7,06
Agregado graúdo 2	Brita 0 - Ø12,5mm	656,0	1,98	13,12
Água	-	176,0	0,53	3,52
Aditivo	Plastificante	2,3	0,70%	46,48

Fonte: autor (2024)

Tabela 5 - Traço III / 15% de ADF

Material	Descrição	Massa (kg) Dosagem para 1m ³	Traço unitário (massa)	Massa (kg) Dosagem para 20 litros
Cimento	CPII-F40	282,0	1,00	5,64
Aglomerante 2	Cinza volante	50,0		1,00
Agregado miúdo 1	Areia industrial	380,0	1,14	7,60
Agregado miúdo 2	ADF	57,0	0,17	1,14
Agregado miúdo 3	Areia fina	323,0	0,75	6,46
Agregado graúdo 1	Brita 1 - Ø19mm	353,0	1,06	7,06
Agregado graúdo 2	Brita 0 - Ø12,5mm	656,0	1,98	13,12
Água	-	176,0	0,53	3,52
Aditivo	Plastificante	2,3	0,70%	46,48

Fonte: autor (2024)

Tabela 6 - Traço referência

Material	Descrição	Massa (kg) Dosagem para 1m ³	Traço unitário (massa)	Massa (kg) Dosagem para 20L
Cimento	CPII-F40	282,0	1,00	5,64
Aglomerante 2	Cinza volante	50,0		1,00
Agregado miúdo 1	Areia industrial	380,0	1,14	7,60
Agregado miúdo 2	Areia fina	380,0	0,84	7,60
Agregado graúdo 1	Brita 1 - Ø19mm	353,0	1,06	7,06
Agregado graúdo 2	Brita 0 - Ø12,5mm	656,0	1,98	13,12
Água	-	176,0	0,53	3,52
Aditivo	Plastificante	2,3	0,70%	46,48

Fonte: autor (2024)

Confecção dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em laboratório, conforme pode-se observar na Figura 3 e seguiu as especificações técnicas da NBR 5738 (ABNT, 2015). Foram confeccionados 8 corpos de prova para cada traço, totalizando 32 corpos de prova, iniciou-se pelo traço referência, seguido pelos traços de 5%, 10% e 15% de areia de fundição. Para os traços de 10% e 15% de substituição de areia natural pela areia de fundição, fez-se necessário o uso de aditivo superplastificante para correção do abatimento.



Figura 3– a. Concreto na betoneira, b. Moldagem dos corpos de prova, c. Cura úmida

Fonte: autor (2024)

Confecção dos corpos de prova

Após o período de cura de 3, 7 e 28 dias, foram realizados os ensaios de compressão seguindo os procedimentos descritos na NBR 5738 (ABNT, 2015), utilizando a máquina universal (Figura 4-a).

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado de acordo com a NBR 9779 (ABNT, 2012) após um período de cura de 28 dias. Para dar início ao teste, os corpos de prova foram secos em estufa a 105°C durante 24 horas, conforme ilustrado na Figura 4-b. Após a secagem, os corpos de prova foram posicionados em um recipiente com a face inferior imersa em água (Figura 4-c). As massas dos corpos de prova foram medidas nos intervalos de 3h, 6h, 24h e 72h.

O ensaio do módulo de elasticidade foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Construção (LATEC), conforme a NBR 8522-1 (ABNT, 2021) após 28 dias de cura.



Figura 4– a. Máquina universal, b. Corpos de prova na estufa, c. Após imersos em água
Fonte: autor (2024)

Resultados e discussões

A seguir, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos. Após o ensaio de granulometria, os resultados foram comparados com os parâmetros da NBR 7211 (ABNT, 2009), conforme ilustrado na Figura 5.

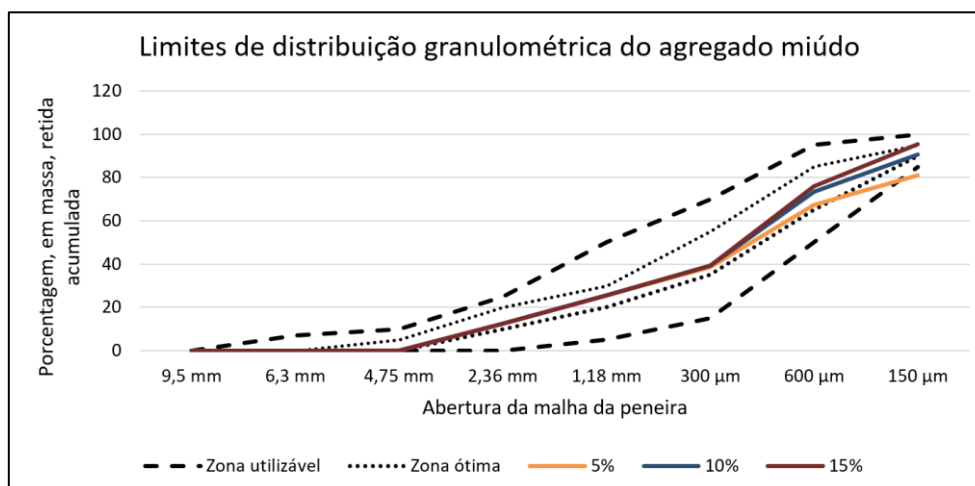


Figura 5– Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo
Fonte: autor (2024)

Definiram-se as três curvas de acordo com o percentual de areia descartada de fundição utilizados nos ensaios. O módulo de finura dos três percentuais de substituição se encontra na zona ótima, conforme definido em norma. Para 5% de substituição de areia natural pela areia de fundição, o módulo de finura foi de 2,25; para 10%, 2,41; e para 15%, 2,49. Assim, os percentuais escolhidos para os ensaios atendem às recomendações normativas.

Na Figura 6 estão apresentados os resultados obtidos com o ensaio de absorção de água por capilaridade.

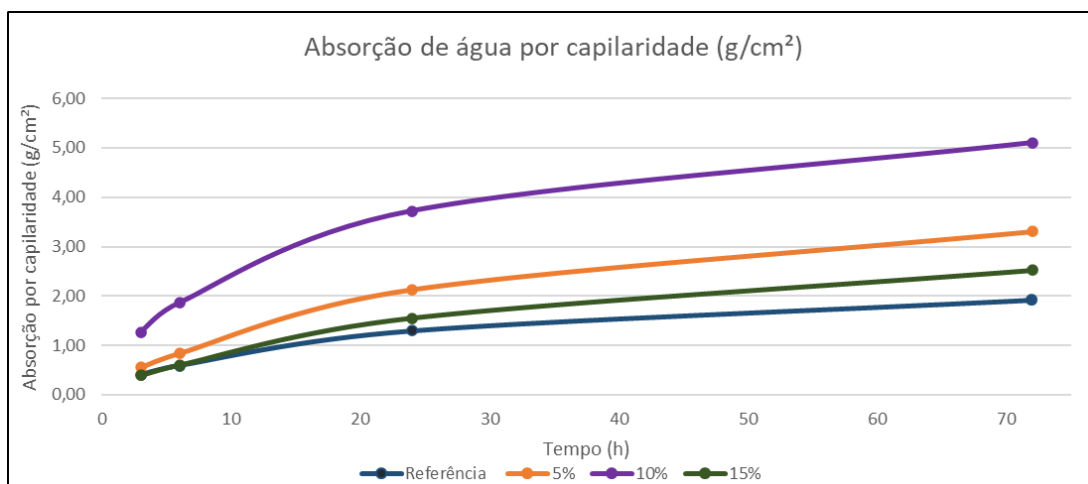


Figura 6—Resultados ensaio de absorção de água por capilaridade
Fonte: autor (2024)

É possível observar que a absorção de água por capilaridade aumenta com o passar do tempo em todos os corpos de prova; o que é esperado, pois a capilaridade continua a atuar conforme o concreto absorve mais água.

O corpo de prova com 15% de substituição é o que mais se aproxima do concreto de referência. Esse comportamento sugere que a maior quantidade de areia de fundição pode ter um efeito positivo na redução da permeabilidade ou, ao menos, limitar o aumento da absorção de água em comparação concreto com 5% e 10% de areia de fundição. A absorção a 72h (2,518g), é menor do que a absorção de 10% (5,103 g) de substituição; o que pode indicar que o uso de 15% de areia de fundição resulta em um concreto com características de absorção mais equilibradas, embora ainda mais permeável que o concreto referência.

Na Tabela 7 estão agrupados os resultados obtidos através do ensaio de compressão axial aos 3, 7 e 28 dias.

Tabela 7 – Agrupamento dos resultados de resistência à compressão

Traço	Resistência (MPa)					
	3 dias		7 dias		28 dias	
	CP I	CP II	CP I	CP II	CP I	CP II
Referência	23,68	24,17	32,25	32,29	36,62	39,45
5%	24,92	25,80	32,25	32,65	33,39	38,52
10%	24,82	25,81	32,52	32,66	32,74	40,28
15%	26,78	27,25	33,27	33,15	41,46	33,54

Fonte: autor, 2024.

Com o intuito de comprovar estatisticamente a influência dos diferentes percentuais de areia descartada de fundição, os resultados de resistência à compressão foram analisados através do método de Análise de Variância (ANOVA), com um intervalo de confiança de 95%. Os resultados experimentais foram agrupados de acordo com sua idade de ruptura, ou seja, 3, 7 e 28 dias, para analisar os efeitos principais correspondentes a cada período. A seguir, porém, apresentam-se os resultados apenas p/a idade de 28 dias.

Na Tabela 8, pode-se observar que os corpos de prova com areia descartada de fundição, ensaiados aos 28 dias, não tiveram um efeito significativo na resistência do concreto, quando comparado aos resultados obtidos com 3 e 7 dias. Diferente dos resultados anteriores, neste caso, não há um valor F calculado maior que o F tabelado, logo não existem diferenças entre os grupos.

Tabela 8 – Análise de Variância, resistência à compressão aos 28 dias

Tabela ANOVA - <i>Analysis of variance</i> - Resistência à compressão axial aos 28 dias				
Fonte	SQ	GDL	MQ	Teste F
Entre grupos (%)	5,31	3	1,77	0,09
Dentro dos grupos (residual)	76,95	4	19,24	
Total	82,26	7		
F calculado 0,09		F tabelado 6,59	Não existe diferença entre grupos	

Legenda: SQ - soma quadrática; GDL - graus de liberdade; MQ - média quadrática; Teste F - valor calculado de F Fonte: autor (2024)

Através do limite de decisão, apresentado na Tabela 9, pode-se esperar um resultado estatisticamente significativo entre os grupos, com um limite de decisão de 9,30MPa.

Tabela 9 – Limite de decisão para comparação entre as médias

Comparação múltipla das médias		
$S_x = \sqrt{MQR / \sqrt{nc}}$	3,10	Desvio padrão das médias
$L_d = 3.S_x$	9,30	Limite de decisão

Fonte: autor (2024)

Na Tabela 10, pode-se observar que todas as médias são estatisticamente equivalente. Logo, com o uso da areia descartada de fundição não foram observadas mudanças significativas na resistência do concreto.

Tabela 10 – Médias ordenadas de forma crescente

Ordenando as médias			
ADF (%)	Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	Comparação entre as médias	Situação
0,0	38,04	0,53	Estatisticamente equivalente
15,0	37,50	0,99	
10,0	36,51	0,56	
5,0	35,96		

Fonte: autor (2024)

De modo geral, o aumento do percentual de substituição de areia natural pela areia descartada de fundição não influenciou estatisticamente na resistência do concreto. Ou seja, apesar das variações nos percentuais de areia descartada de fundição, os concretos têm um desempenho semelhante em termos de resistência à compressão. Nesse sentido, tem-se um resultado satisfatório, visto que não houve comprometimento da resistência estrutural do concreto, além do ponto de vista da sustentabilidade.

Quando analisado o módulo de elasticidade pela ANOVA, nota-se que não foram encontradas diferenças entre os grupos, como observa-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Análise de Variância, resultados do módulo de elasticidade

Tabela ANOVA - <i>Analysis of variance</i> – Módulo de elasticidade				
Fonte	SQ	GDL	MQ	Teste F
Entre grupos (%)	2,25	3	0,75	0,20
Dentro dos grupos (residual)	14,74	4	3,68	
Total	16,98	7		
F calculado 0,20	F tabelado 6,59	Não existe diferença entre grupos		

Fonte: autor (2024)

Com o limite de decisão calculado apresentado na Tabela 12, pode-se esperar um resultado estatisticamente significativo entre os grupos, com um limite de decisão de 4,07MPa.

Tabela 12 – Limite de decisão para comparação entre as médias

Comparação múltipla das médias		
$S_x = \sqrt{MQR} / \sqrt{n_c}$	1,36	Desvio padrão das médias
$L_d = 3.S_x$	4,07	Limite de decisão

Fonte: autor (2024)

Nota-se através da Tabela 13 que os resultados são estatisticamente equivalentes, logo, o módulo de elasticidade para todos os corpos de prova se manteve em valores aproximados.

Tabela 13 – Médias ordenadas de forma crescente

Ordenando as médias			
ADF (%)	Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	Comparação entre as médias	Situação
15,0	25,73		Estatisticamente equivalente
10,0	25,39	0,34	
0,0	24,55	0,84	
5,0	24,51	0,04	

Fonte: autor, 2024.

De modo geral, o módulo de elasticidade não alterou as propriedades do concreto, como a capacidade de carga, a rigidez e a deformação das estruturas, uma vez que os resultados obtidos foram estatisticamente equivalentes.

Viabilidade Econômica

Ao analisar o custo do concreto por MPa, onde divide-se o custo dos insumos em metro cúbico pela resistência obtida, nota-se que o concreto com 15% de areia descartada de fundição apresenta uma economia de 28,8% no custo por MPa (Figura 7).

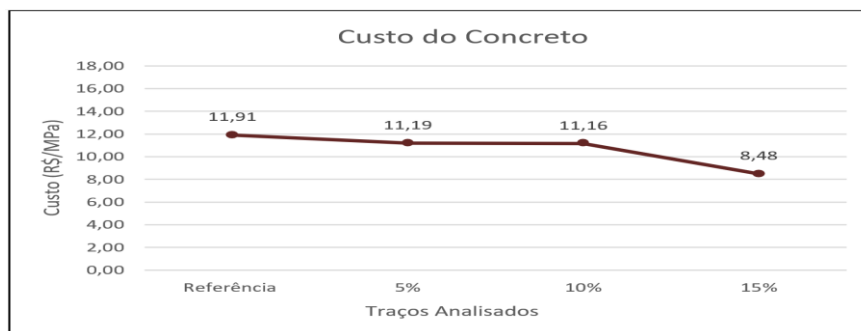


Figura 7– Custo do concreto

Fonte: autor (2024)

A economia é gerada principalmente pela ausência do custo associado à areia descartada de fundição que, na verdade, traz um ganho financeiro. Isso ocorre porque a empresa responsável pela geração dessa areia paga R\$30,00 por tonelada para a empresa que recebe este resíduo. Além desse benefício, é importante ressaltar que se diminui o custo da areia natural, a qual tem se tornado cada vez mais cara, especialmente devido ao aumento do frete.

Observa-se que à medida que o percentual de substituição de areia natural pela areia descartada de fundição aumenta, o custo do concreto diminui. Embora a resistência à compressão do concreto, aos 28 dias, apresente uma leve redução, ela permanece estatisticamente equivalente à do concreto referência. Com isso, o custo total do concreto é reduzido, proporcionando um melhor custo-benefício tanto para a concreteira quanto o cliente final.

Obs.: Os custos foram obtidos a partir dos valores reais médios praticadas no mercado à época do desenvolvimento deste trabalho.

Conclusões

Os resultados analisados indicam que o concreto com areia descartada de fundição não apresentou alterações significativas na resistência do concreto em comparação ao concreto com areia natural. Ao substituir 15% da areia natural pela areia descartada de fundição, observou-se uma economia de aproximadamente 28,8% no custo do concreto por MPa. Essa redução de custos pode ser ainda mais significativa, especialmente em regiões onde o preço da areia natural tem aumentado devido aos custos de transporte e escassez do material.

Além disso, este trabalho demonstrou que a areia descartada de fundição não tem um impacto significativo na resistência do concreto, evidenciando seu potencial como uma estratégia eficaz para a redução de custos. A substituição da areia natural por esse resíduo pode gerar uma economia substancial, especialmente quando se considera o volume de concreto produzido nas regiões onde a ADF está disponível. Além disso, o reuso da areia de fundição contribui para a diminuição dos impactos ambientais, promovendo a sustentabilidade do processo produtivo ao evitar o descarte inadequado desse material.

Como recomendações para estudos futuros, pode-se citar o estudo aprofundado da areia descartada de fundição e suas principais propriedades, a fim de verificar como este material pode influenciar o desempenho do concreto. Um estudo crítico da areia descartada de fundição permitirá identificar os tipos de edificações e construções onde o concreto com este material poderá ser utilizado, garantindo que não haja alterações nas propriedades estruturais.

Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318 – Building Code Requirements for Structural Concrete. 2005.
- BOUSSELHAM, A.; CHAALLAL, O. Shear Strengthening Reinforced Concrete Beams with Fiber-Reinforced
- ABIFA. Areia de fundição. Disponível em: <https://abifa.org.br/site/>. Acesso em: 02 maio. 2023.
- ADEGAS, Roseane Gonçalves. Perfil Ambiental dos Processos de Fundição Ferrosa que utilizam Areias no Estado do Rio Grande do Sul. Orientadora: Andrea Moura Bernardes. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- BHARDWAJ, B; KUMAR, P. Waste foundry sand in concrete: a review. Construction and Building Materials, v. 156, p 661-674, 2017.
- COUTINHO NETO, B; FABBRI, G. T. P. Avaliação da reutilização da areia de fundição em misturas asfálticas densas do tipo CAUQ. Revista Transportes, v. 12, 2004, p. 50-57.
- DUNCAN, D. B. Multiple range and multiple F tests. Biometrics, v. 11, n. 1, p. 1-42, 1955.
- EMERY, J. J. Waste and Byproduct Utilization in Highway Construction. Resource Recovery and Conservation, v. 1, n. 1975, p. 25-43, 1975.
- FAROOQ, M. U.; AHMED, T.; AKMAL, U. Utilization of non-ferrous recycled foundry sand as a partial replacement of fine aggregate in concrete. Science International (Lahore), v. 26, n. 40, pp.1527-1431, 2014. Disponível em: [https://www.sci-int.com/pdf/8568307971611-1615--1-UMAR%20FAROOQ--UET--FINAL--PAID-GP%20\(1\).pdf](https://www.sci-int.com/pdf/8568307971611-1615--1-UMAR%20FAROOQ--UET--FINAL--PAID-GP%20(1).pdf). Acesso em: 22 dez. 2017.
- FISHER, R. A. Statistical methods for research workers. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1925.
- FREMAR. Fundição de Areia Verde. 2014. Disponível em: <https://www.fremar.com.br/fundicao-areia-verde.html>. Acesso em: 10 out. 2024.
- GUNEY, Y; SARI, Y. D; YALCIN, M. “Reusage of waste foundry sand in high-strength concrete”. Waste Management, v. 30, n. 8-9, pp. 1705-1713, 2010.
- LELLES, L. C. Avaliação qualitativa de impactos ambientais oriundos da extração de areia em cursos d’água. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2004.
- LOPES, E. J; FERREIRA, F. F et al. Sistema de recuperação de areais alcalinas de fundição. Revista Fundição e Matérias Primas, Caderno Técnico v.1, n.1, p.48-59, 2004.
- MARTINS, G. A. Estatística geral e aplicada. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- NOGUEIRA, R. S. f. Efeitos do tempo de exposição ao feedback na aprendizagem em treinamento baseado na web. Orientadora: Gardênia da Silva Abbad. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Psicologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- NWOFOR, T. C; UKPAKA, C. Assessment of Concrete Produced with Foundry Waste as Partial Replacement for River Sand. Journal of Civil Engineering Research, v.6, n.1, pp.1-6, 2016. Disponível em: <http://article.sapub.org/10.5923.j.jce.20160601.01.html>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- QUARESMA, L. F. Produto22 – Agregados para construção civil. Relatório Técnico 31. J Mendo Consultoria, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/relatorios-de-apoio-ao-pnm-2030-projeto-estal-1/a-mineracao-brasileira/documentos/p22_rt31_perfil_de_areia_para_construcao_civil.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.
- QUEVEKS, Fonte. Qual a importância de executar a sondagem para a fundação? Queveks Blog, 2021. Disponível em: <https://www.queveks.com.br/post/qual-importancia-executar-sondagem-fundacao-51>. Acesso em: 10 out. 2024.
- RESHMA, T. V et al. Effect of waste foundry sand and fly ash on mechanical and fresh properties of concrete. Materials Today, v.47, n.13, pp. 3625-3632, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320405395>. Acesso em: 15 set. 2024.
- SANTOS, C. C.; LOPES, D. C. Estudo da Resistência de Concretos com Areia de Fundição e Cinza de Casca de Arroz. Reec - Revista Eletrônica de Engenharia, 83 Civil, nov. 2017. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/46600/pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.



STOLF, B. F. P. Projeto de processo para recuperação de areia fenólica utilizada na fabricação de machos e moldes na indústria de fundição e para fabricação de blocos e bloquetes. In: 5º Simpósio de Ensino de Graduação, 2007. UNIMEP, 2007.

TANNO, L. C. Recursos Minerais: Conceitos e Panorama de Produção e Consumo. In: TANNO, L. C.; SINTONI, A. (Coord.). Mineração e município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. p. 9-14.