2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

Análise do desempenho de pisos intertravados com a incorporação de areia de fundição produzidos em escala industrial[1]

LIMA, Geannina Terezinha dos Santos (1); GHISLENI, Geisiele (2)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, geanninasantos@hotmail.com
(2) Centro Universitário Avantis, ghisleni.geisi@gmail.com

RESUMO

O desenvolvimento de sistemas eco eficientes é a busca por soluções aos materiais residuais que apresentam propriedades potencializadoras para a produção de pré-fabricados na construção civil. A areia de fundição, é um dos resíduos provenientes do molde das peças metálicas fundidas. Seu correto descarte são os aterros industriais, entretanto, estes geram custo de preparo e manutenção, além da preocupação ambiental. Neste contexto, o estudo objetiva produzir pisos de pavimentos intertravados com areia de fundição em substituição à areia natural aos teores 0%, 2,5%, 5,0%, 10,0% e 20,0%, analisando seu desempenho quanto à absorção de água e a resistência à compressão aos 7 e 28 dias. A mistura e produção dos pisos foram realizadas em sistema automatizado, posteriormente, aplicou-se os ensaios laboratoriais conforme preconiza a NBR 9781 (2013). Com os resultados foi possível constatar que todos os pisos com incorporação de areia de fundição se mantiveram dentre os limites determinados pela NBR 9781 (2013), ou seja, com absorção de água inferior à 6% e resistência à compressão superior a 35 MPa aos 28 dias. Diante disso, conclui-se que os pisos intertravados com areia de fundição apresentam-se como materiais sustentáveis alternativos na indústria da construção civil.

Palavras-chave: *Areia de fundição; Material alternativo; Resíduos industriais.*

ABSTRACT

The development of eco-efficient systems is the search for solutions to waste materials that have potentializing properties for the production of prefabricated products in civil construction. Foundry sand is one of the residues from the mold of molten metal parts. Its correct disposal is industrial landfills, however, these generate cost of preparation and maintenance, in addition to environmental concerns. In this context, the study aims to produce pavement floors interlocked with foundry sand to replace natural sand at levels of 0%, 2.5%, 5.0%, 10.0% and 20.0%, analyzing its performance in terms of water absorption and resistance to compression at 7 and 28 days. The mixing and production of the floors was carried out in an automated system, later, laboratory tests were applied as recommended by NBR 9781 (2013). With the results it was possible to verify that all floors with incorporation of foundry sand remained within the limits determined by NBR 9781 (2013), that is, with water absorption below 6% and compressive strength above 35 MPa at 28 days. Therefore, it is concluded that floors

[1] LIMA, Geannina Terezinha dos Santos Lima; [2] GHISLENI, Geisiele. Análise do desempenho de pisos intertravados com a incorporação de areia de fundição produzidos em escala industrial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

interlocked with foundry sand are presented as alternative sustainable materials in the construction industry.

***Keywords**: Foundry sand; Alternative material; Industrial waste*.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa à nona posição no mundo em produção de ferro fundido, são produzidos anualmente 2,28 milhões de toneladas de peças metálicas (ABIFA, 2019). Segundo Coutinho (2004), a areia possui desempenho importante no processo de fundição, isso porque, apresenta alta capacidade refratária e ampla facilidade de aglutinação quando misturada com argila e/ou aditivos orgânicos e inorgânicos. Esta é responsável pela fabricação dos moldes para o vazamento do metal, como também estabelece a sua forma, ou seja, admite uma perfeita sincronização entre a operação de moldagem e fusão do metal (BHARDWAJ et al., (2017)).

A areia resultante do processo de fundição é denominada areia de fundição (AF), sendo composta principalmente de sílica, com aproximadamente 85% a 95%, os outros, 4% a 10% referem-se a argila bentonita, a qual é utilizada como ligante nas produções das peças metálicas e de 2% a 10% de aditivo carbonáceo, empregado para melhorar o acabamento da superfície da peça de fundição (BHARDWAJ et al. (2017)). Para Bhardwaj et al. (2017) e Kaur et al. (2012), a areia de fundição possui forma sub-angular, arredondada, sendo 85% a 90% de suas partículas constituídas com grãos inferiores a 100 µm e com módulo de finura entre 0,9 a 1,6.

Ao atingir o seu limite de reutilização no processo de fabricação de peças, a AF é destinada ao aterro industrial, devido ao excesso de elementos químicos inseridos na mistura. De acordo com Ghisleni e Lima (2020), quando esses aterros não são monitorados corretamente podem originar riscos ambientais, pois alteram as características físicas, químicas e biológicas do local, podendo ocasionar a contaminação do solo e água. Além disso, esses aterros apresentam custos elevados em virtude da sua manutenção.

A reutilização ou reaproveitamento da areia de fundição é uma opção sustentável, proporcionando economia de matéria-prima, redução de espaços destinados aos aterros para resíduos industriais e diminuição dos custos de coleta e de destinação.

Diante disso, a indústria da construção civil tem ocupado papel de destaque, como um potencial consumidor de resíduos sólidos industriais e urbanos. A areia de fundição é considerada um material fino e com características semelhantes a areia natural, tornando-a uma opção para ser utilizada na produção de materiais de construção civil.

Neste contexto, estudos em concretos e argamassas são desenvolvidos com o intuito de avaliar a influência da substituição do agregado miúdo natural pela areia de fundição (MATOS et al. (2019), TORRES et al. (2017), SINGH et al. (2012), GUNEY et al. (2010). Conforme Singh et al. (2012), analisaram as propriedades mecânicas (resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade) aos 7, 28 e 91 dias de concretos convencionais produzidos com substituição de areia natural nos teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% pela areia de fundição. Com os resultados, os autores concluíram que nas idades mais tardias, as propriedades mecânicas evoluíram consideravelmente para todas as substituições. Além disso, à medida que o teor de substituição aumentou, as propriedades mecânicas aumentaram, exceto para a mistura constituída com 20% AF. Isso também é explanado por Bhardwaj et al. (2017), no qual os autores verificaram que a substituição de até 20% de areia

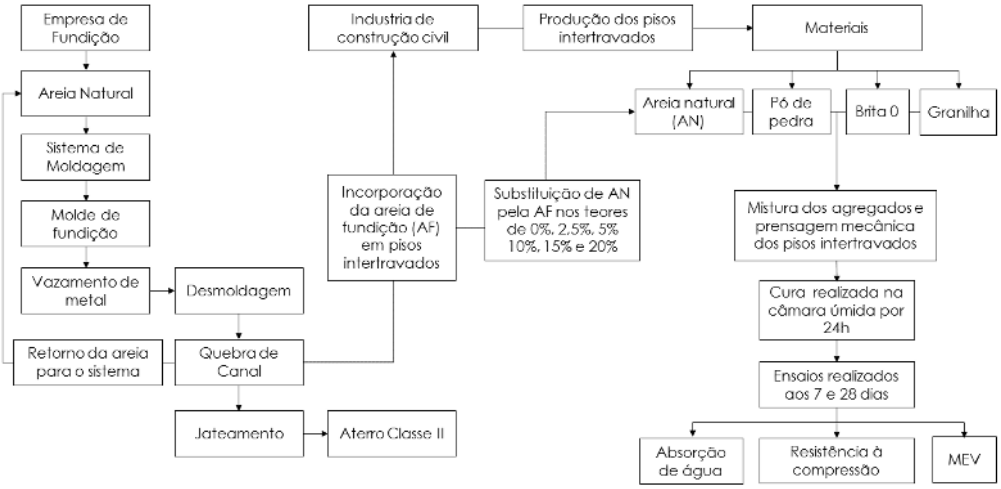
natural por areia de fundição pode proporcionar propriedades semelhantes ao concreto de referência (0% AF).

Isto posto, esta pesquisa têm como objetivos analisar o comportamento de pisos de concreto intertravado produzidos em escala industrial quanto à absorção de água e resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura, aplicando a substituição parcial da areia natural pela areia de fundição nos teores de 0%, 2,5%, 5%, 10%, 15% e 20%.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material residual é proveniente do processo de produção das peças metálicas de uma empresa localizada no município de Santo Ângelo – RS, a areia de fundição, foi obtida através do processo de quebra de canal. Por conseguinte, a areia de fundição (AF), foi transportada até uma indústria de peças de construção civil pré-fabricadas, situada na cidade de Ijuí – RS. Todos os procedimentos realizados na pesquisa, estão explanados na Figura 1. Primeiramente realizou-se a caracterização deste material quanto a sua toxidade, visto que, a areia de fundição tem um potencial de riscos ambientais devido a composição de metais pesados. Segundo os diagnósticos, a areia de fundição se apresentou dentro dos limites permitidos pela NBR 10004 (2004) quanto aos riscos potenciais de contaminação. No ensaio de lixiviação pela NBR 10005(2004) os parâmetros satisfazem os limites permitidos, o resíduo apresentou-se como não tóxico, ou seja, enquadrando-se na Classe II-A (Não Inertes). Diante desses resultados é permitido a incorporação de areia de fundição nos pisos de concreto. A Figura 1, apresenta as etapas realizadas nesta pesquisa.

Figura 1- Fluxograma com os procedimentos adotados nesta pesquisa



Fonte: Os autores (2020)

Na produção dos pisos intertravados de concreto os materiais utilizados foram, o CPIV-32 RS, o qual apresenta uma superfície específica 0,43 m²/g e massa específica de 2,83 g/cm³ conforme a NBR 16697 (2018), pó de pedra, brita 0, granilha, areia natural (AN) e areia de fundição (AF). Os resultados de caracterização dos agregados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos agregados graúdos e miúdos

Propriedades (NBR NM 52)	AN	AF	Pó de Pedra	Brita 0	Granilha
Massa específica (g/cm³)	2,58	2,00	2,70	2,65	2,43
Modulo de Finura	2,6	1,88	2,47	-	-
Diâmetro Máximo (mm)	-	-	4,8	9,5	4,8

Fonte: Os autores (2020)

A descrição do consumo da mistura referência é apresentada na Tabela 2, sendo que, para as demais misturas (2,5%AF, 5%AF, 10%AF, 15%AF e 20%AF), modifica-se o consumo unicamente de agregado miúdo. A substituição de material foi realizada em relação a massa do agregado miúdo do traço referência.

Tabela 2 – Consumo de materiais no traço referência do piso intertravado

Material	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Pó de Pedra	Granilha
Consumo (kg/m³)	1544,0	1582,0	1719,0	1539,0

Fonte: Os autores (2020)

A confecção dos pisos intertravados foi realizada em escala industrial sendo realizado o recebimento e armazenamento das matérias primas na empresa, as quais se dividem em agregados miúdos, agregados graúdos e aglomerantes. O armazenamento de areia de fundição foi realizado conforme preconizado a NBR 11174 (1990).

A mistura das matérias primas foi realizada por sistema mecanizado, onde a máquina dosadora foi programada para as quantidades necessárias dos materiais. Posteriormente, as peças foram moldadas pela prensagem mecânica nas dimensões de 6x10x20 cm (e, l, c). Por fim as amostras foram levadas para a câmara úmida a uma temperatura de 23ºC ±1 por 24 horas.

Para cada composição e idade (7 e 28 dias) foram produzidas 3 amostras com a finalidade de submetê-las aos ensaios de absorção de água e resistência à compressão conforme a NBR 9781 (2013). Por fim, foram adotados valores médios como resultado. Ainda, utilizou-se a análise da variância (ANOVA) para verificar a influência da variável independente "nível de substituição de AF" nos resultados de absorção de água e resistência à compressão dos pisos intertravados, para uma confiabilidade de 95%.

2.1 Ensaio de Microestrutura e Lixiviação

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) proporcionou a caracterização morfológica dos constituintes na amostra, em uma análise comparativa entre amostra referência e composição com areia de fundição. Já o ensaio de lixiviação referiu-se à NBR 10.005 (2004), no qual consiste a identificação do extrato lixiviado quanto a transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator, classificando-as quanto a periculosidade ao ambiente em comparativo aos parâmetros da NBR 10004 (2004). A definição das amostras para a realização destes ensaios delimitou-se na mistura referência e 10%AF, devido aos resultados de resistência à compressão e absorção aos 28 dias.

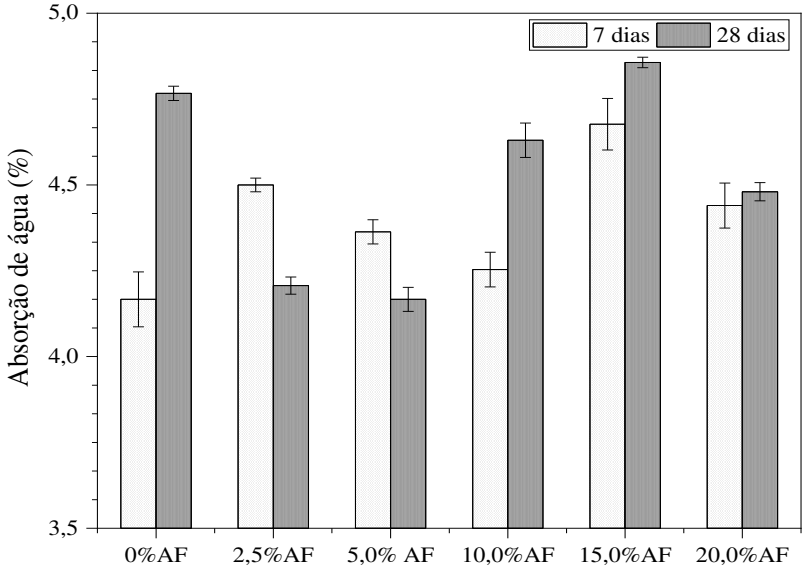
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Absorção de água

Os resultados de absorção aos 7 e 28 dias estão apresentados na Figura 2. É possível observar que aos 7 dias as misturas contendo areia de fundição obtiveram uma absorção de água maior que a amostra referência (0% AF). Já aos 28 dias, a porcentagem de absorção aumentou conforme o incremento na porcentagem de AF, no entanto, somente a mistura com 15% AF ultrapassou o valor de absorção do piso de concreto 0%AF. As demais misturas com AF apresentaram uma queda de absorção de água, alcançando uma redução de 13% e 14 % para os teores de 2,5% AF e 5,0% AF, respectivamente, quando comparada ao piso sem incorporação de

resíduo. De acordo com a NBR 9781 (2013), todos os resultados analisados de absorção de água dos pisos intertravados permaneceram entre a faixa permitida, ou seja, valor inferior a 6%.

Figura 2 - Resultados de absorção de água aos 7 e 28 dias dos pisos intertravados



Fonte: Os autores (2020)

Autores como Santos et al. (2016) relatam que a incorporação de 15% de areia de fundição, aumentou 8% os resultados de absorção de água dos pisos de concreto aos 28 dias. Já Schvaickardt et al (2018) avaliaram diferentes dosagens de pisos intertravados, alterando os tipos de cimento Portland, a relação a/c e as proporções de agregados miúdos e graúdos, obtiveram resultados de absorção de água na faixa de 3% a 6,45%.

A partir da análise da ANOVA foi verificado a influência da AF nos resultados do índice de absorção de água dos pisos intertravados aos 28 dias (Tabela 3). Os resultados da análise estatística mostram que a incorporação de AF (F = 258,0; valor de p= 8,8x1010%), teve significância na absorção de água dos pisos de concreto. Por meio, da comparação de médias pelo teste de Tukey foi possível observar que os pisos intertravados com 0% AF e 15% AF, se fazem estatisticamente iguais, como também, as misturas 2,5% AF e 5,0% AF conforme apresentado na Figura 2.

Tabela 3 - Análise ANOVA da absorção de água aos 28 dias

Fonte	SQ	GL	MQ	Teste F	Prob.	Comentário
A - Teor de AF	1,232644444	5	0,246528889	257,9953488	0,0000000008882%	S
Erro	0,01147	12	0,000955556			
Total	1,244111111	17				

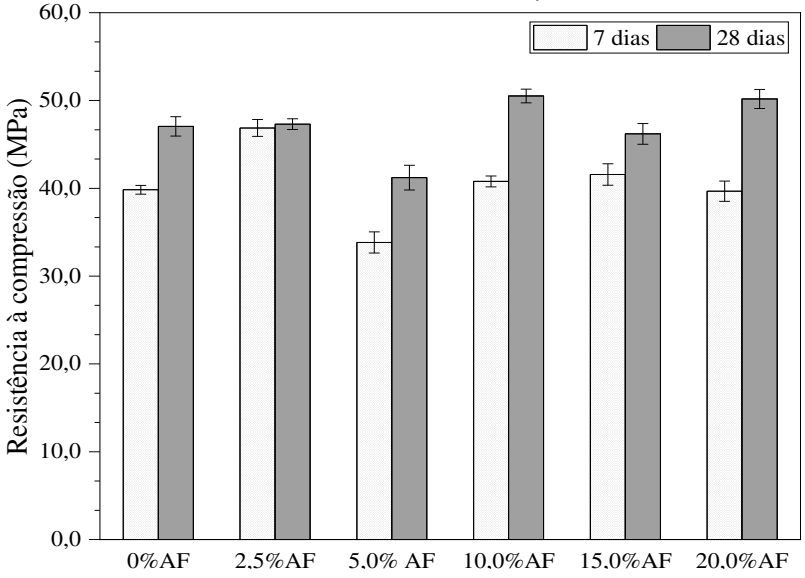
Fonte: Os autores (2020)

3.2 Resistência à compressão e microestrutura

A Figura 3, apresenta os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias para os pisos intertravados. Aos 7 dias, observa-se uma evolução de resistência quando há um aumento nos teores de substituição de areia natural por areia de fundição. Isto ocorre para as porcentagens entre 5,0% AF e 15% AF. Porém, somente as misturas com 2,5%, 10% e 15% de areia de fundição, apresentaram valores de resistência à compressão superiores ao piso de referência (0% AF). Já aos 28 dias, a resistência à

compressão aumentou para todos os teores de AF (Figura 3), quando comparado aos resultados de 7 dias. As misturas que obtiveram resultados superiores à referência foram com 2,5% AF, 10% AF e 20% AF, alcançando um aumento de 1%, 7% e 6%, respectivamente. Para a NBR 9781 (2013), os pisos intertravados devem apresentar resistência superior a 35 MPa aos 28 dias. Todas as misturas analisadas neste estudo atenderam os valores exigidos por esta norma.

Figura 3- Resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias



Fonte: Os autores (2020)

Estudos realizados por Santos et al. (2016) concluíram que a resistência à compressão alcançou um aumento de 16% e 10% para misturas com 5% AF e 10%AF em relação a 0% AF. De acordo com Martins et al. (2019) esse aumento de resistência compressão pode ser atribuída pelo fato de a areia de fundição apresentar partículas mais finas que a areia natural e auxiliar na maior formação de gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), resultando em um material mais denso.

Com os resultados da ANOVA, Tabela 4, é possível afirmar que a AF influência nos resultados de resistência à compressão dos pisos intertravados.

Tabela 4 - Análise ANOVA da resistência à compressão aos 28 dias

Fonte	SQ	GL	MQ	Teste F	Prob.	Comentário
A - Teor de AF	169,88	5	33,98	30,11	0,00022%	S
Erro	13,54	12	1,13			
Total	183,428	17				

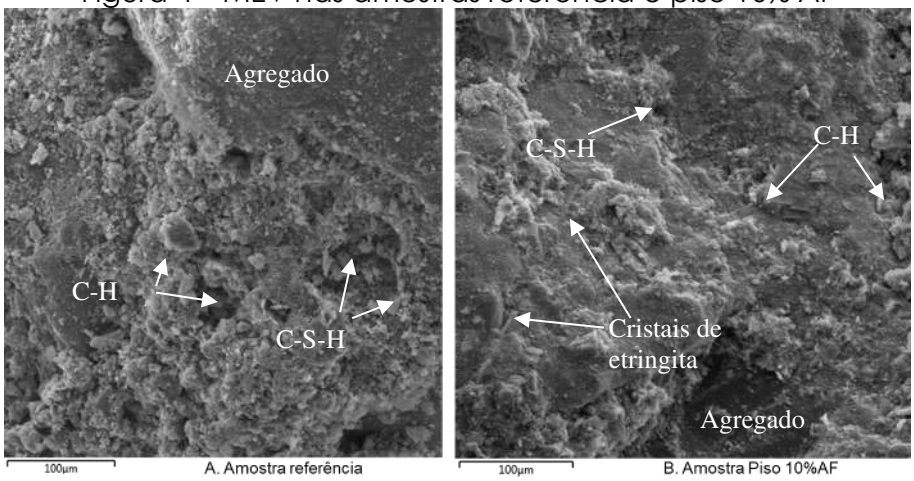
Fonte: Os autores (2020)

Ao realizar a análise de comparação de médias pelo teste de Tukey foi observado que as misturas 0% AF, 2,5% e 15% AF se fazem estatisticamente iguais, assim como, 10% AF e 20% AF. Além disso, o aumento nos valores de resistências fez-se estatisticamente significativos somente para os teores de 10% e 20% de substituição de areia natural por areia de fundição (Figura 3).

As imagens de MEV representam as composições referência (Figura 4.A) e 10% AF (Figura 4.B). Na amostra referência verifica-se o agregado, o C-S-H, e o CH. As amostras referem-se aos 28 dias, sendo que o silicato dicálcico (C2S) não contribuiu significativamente na formação do C-S-H, responsável pelas resistências em idades tardias. A Figura 4.B apresenta a microscopia da composição do piso com10%AF, na

qual ocorreu um refinamento da pasta, com formação de um número mais elevados de cristais, principalmente grumos de C-S-H, em relação a referência. Esse aumento dos cristais elevou os níveis de resistência a compressão pois houve reação entre a areia de fundição e o CH, promovendo a criação de C-S-H secundários.

Figura 4 – MEV nas amostras referência e piso 10% AF



Fonte: Os autores (2020)

No ensaio de TCLP realizado de acordo com o prescrito na NBR 10005 (2004) realizado com a amostra 10% AF, resultou no quantitativo dos compostos, de acordo com a Tabela 5, a qual apresenta os dados deste mesmo ensaio aplicado no resíduo areia de fundição.

Tabela 5- Ensaio de lixiviação TCLP areia de fundição e piso 10% A.F.

Composto	Cd	Cr	Pb	As	Se	Ag	Ba	Hg
0%AF (mg/l)	0,001	0,265	<0,005	0,021	<0,0005	<0,005	0,543	<0,0002
10%AF (mg/l)	0,002	0,07	<0,01	<0,02	0,04	0,03	0,25	ND

Fonte: Os autores (2020)

Ambas as amostras se classificam como Classe II-A, não perigoso, ou seja, todos os compostos são inferiores aos limites descritos na NBR 10004 (2004). Ainda é possível analisar que os compostos químicos se apresentaram com menores concentrações na amostra 10% AF, quando comparada a amostra referência. Diante disso, confirma-se que os compostos químicos presentes na areia de fundição ficam inertes na mistura de piso intertravado não sendo lixiviados ao meio circundante.

4 CONCLUSÕES

Os resultados de absorção de água e de resistência à compressão para os pisos intertravados constituídos com substituição de areia natural por areia de fundição apresentaram valores satisfatórios à norma, ou seja, a absorção de água obteve valores inferiores a 6% e a resistência à compressão não foi comprometida com a incorporação do resíduo na composição, obtendo para todas as misturas com AF uma resistência superior à 35 MPa conforme NBR 9781 (2013).

Dentre os teores analisados, o piso intertravado com 10% AF obteve melhor desempenho aos 28 dias, com absorção de água inferior a referência e, resistência à compressão superior a todas as misturas. Através dos ensaios de MEV e lixiviação, verificou-se a presença de maiores quantidades de C-S-H para mistura com 10% AF, em relação a referência, e, os compostos químicos permanecem inertes em meio aquoso, quando testados em TCLP.

Acredita-se que a substituição parcial da areia natural por areia de fundição (até 20%), é viável para a produção dos pisos intertravados, pois apresentaram resultados em suas propriedades físicas e mecânicas em conformidade com as normativas sem comprometer a aparência superficial dos pisos intertravados.
Além disso, os pisos com areia de fundição são uma alternativa sustentável para a construção civil e a indústria de fundição, uma vez que, há reutilização deste resíduo reflete na redução de materiais naturais e na diminuição de insumo nos aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). Link < http://www.abifa.org.br/producao-de-fundidos-tem-novo-incremento-em-2019/ > 2020.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2013.
_____.**NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido. Rio de Janeiro, 2004.
_____.**NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
_____.**NBR 11174**: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III – inertes. Rio de Janeiro, 1990.
_____.**NBR 9781**: Método de ensaio para determinação da resistência à compressão de peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 2013.
_____.**NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
_____.**NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
BHARDWAJ, B; KUMAR, P. Waste foundry sand in concrete: A review. **Construction and Building Materials**. v. 156, p, 661- 667. 2017.
COUTINHO, B, N. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 2004. 261 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
GHISLENI, G; LIMA, G, T, S. Estudo da viabilidade de reutilização da areia de fundição na produção de blocos de concreto e concreto convencional. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. v.9, p 551 – 570. 2020.
GUNEY, Y; SARI, Y.D; YALCIN, M; TUNCAN, A; DONMEZ, S. Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. **Waste Manag**. v. 30. p 1705 - 1713. 2010.
KAUR, G; SIDDIQUE, R; RAJOR, A. Properties of concrete containing fungal treated waste foundry sand. **Construction and Building Materials**. v 29, p, 82 – 87. 2012.
MARTINS, M, A, B; BARROS, R, M; SILVA, G; SANTOS, I, F, S. Study on waste foundry exhaust sand, WFES, as a partial substitute of fine aggregates in conventional concrete. **Sustainable Cities and Society**. v. 45, p. 187-196. 2019.
MATOS, P. R; MARCON, M. F; SCHANKOSKI, R. A; PRUDÊNCIO, L. P. Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes. **Journal of Environmental Management**. v. 244, p 294 - 303. 2019.
SANTOS, C, C; DALLA VALENTINA L, V, O; CUZINSKY, F, C. Peças de concreto para pavimentos intertravados produzidos com resíduos de areia de fundição. **60º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Águas de Lindóia – São Paulo. 2016. Link < http://metallum.com.br/60cbc/anais/PDF/13-064TT.pdf >
Schvaickardt, C, M; Mattos, J, R, G. Proposta de traço para blocos de concreto de pavimento intertravado. **Tecno-lógica**. v. 22, n.2, p. 157-166. 2018.
SINGHA, G; SIDDIQUEB, R. Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. **Construction and Building Materials**. v 26, p, 416 - 422. Jan (2012).
TORRES, A; BARTLETT, L; PILGRIM, C. Effect of foundry waste on the mechanical properties of Portland cement concrete. **Construction and Building Materials**. v. 135, p 674 - 681. 2017.