XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO

Mechanical properties of mortars with waste foundry sand

DANIEL MASSOLLA[1], GISLEIVA FERREIRA[2], CAMILA MOURA[3], IVAIR SBROIO[4], RAQUEL CARNIN[5], MARTA PIRES[6]

[1] Mestrando em Tecnologia; Universidade Estadual de Campinas, d272383@dac.unicamp.br
[2] Professora Doutora; Universidade Estadual de Campinas, gisleiva@unicamp.br
[3] Mestranda em Tecnologia; Universidade Estadual de Campinas, c244728@dac.unicamp.br
[4] Mestrando em Tecnologia; Universidade Estadual de Campinas, i152043@dac.unicamp.br
[5] Pesquisadora; Universidade Estadual de Campinas, raqueljoin@gmail.com
[6] Profª.Drª.; Universidade Estadual de Campinas, martasiv@unicamp.br

RESUMO

A geração anual de areia descartada de fundição (ADF) resulta em impactos ambientais, sociais e econômicos. Alternativas para utilização desse resíduo são estudadas, sobretudo na construção civil (agregado miúdo em materiais cimentícios). O objetivo desse trabalho é determinar as propriedades mecânicas de argamassas com ADF. Realizou-se ensaios de tração na flexão, compressão e módulo de elasticidade dinâmico, em amostras com 30% de substituição da areia por ADF. Os resultados indicaram que a ADF reduziu a rigidez da argamassa, melhorando o seu desempenho quando aplicada como revestimento de paredes externas, geralmente submetidas às condições críticas de variações de temperatura e umidade.

Palavras-chave: Resíduos industriais. Argamassas de revestimento. Desempenho.

ABSTRACT

The annual generation of waste foundry sand (WFS) results in environmental, social and economic impacts. Alternatives for the use of this waste are studied, especially in civil construction (fine aggregate in cementitious materials). The objective of this study is to determine the mechanical properties of mortars with WFS. Tensile tests in flexure, compression and dynamic modulus of elasticity were performed on samples with 30% replacement of sand by WFS. The results indicated that WFS reduced the stiffness of the mortar, improving its performance when applied as coating for external walls, generally subjected to critical conditions of temperature and humidity variations.

Key-words: Industrial Waste. Coating mortar. Performance.

Como citar:
MASSOLA, D.; FERREIRA, G.; MOURA, C.; SBROIO, I.; CARNIN, R.; PIRES, M. Propriedades mecânicas de argamassas com areia descartada de fundição. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da produção de fundidos, também tem aumentado a geração de resíduos sólidos desse setor produtivo, em especial a Areia Descartada de Fundição (ADF), que corresponde a aproximadamente 85% do total [2],[3]. No Brasil, cerca de 3 milhões de toneladas de fundidos são produzidos anualmente [4]. Mais de 100 milhões de toneladas de ADF são produzidas anualmente em todo o mundo. Deste total, os EUA produzem 10 milhões de toneladas aproximadamente, dos quais menos de 30% é reciclado [5]. Juntamente com a China, os EUA são os maiores produtores mundiais de fundidos, que totalizam cerca de 112 milhões de toneladas anuais ao redor do globo [3]. A Índia ocupa o terceiro maior produtor mundial de fundidos, aproximadamente 5 mil fundições e uma produção anual de quase 9,3 milhões de toneladas [6].

De acordo com a NBR 15702 [7], os lotes de ADF que não recebem adições orgânicas, podem ser classificados como resíduo sólido classe II-A (não perigoso e não inerte), conforme requisitos da NBR 10004 [8]. Desde modo, o uso da ADF na construção civil, sobretudo como agregado miúdo em materiais cimentícios (concretos, pré-moldados e argamassas), é objeto de estudos recentes [9]-[15]. Entretanto, são necessários mais estudos sobre o uso de ADF em argamassas, sobretudo relacionados ao teor máximo de substituição em traços usuais para revestimento ou assentamento de alvenarias. Alguns estudos relatam que a substituição parcial da areia por ADF em argamassas de 15 a 30%, pode manter as propriedades no estado fresco e endurecido, sem impactos significativos no desempenho dessas argamassas. [9]-[15].

Entre as propriedades mecânicas essenciais às argamassas de revestimento, destaca-se o módulo de elasticidade (E), pois está relacionada à capacidade de deformação do material, devido ações de intempéries e do substrato onde foi aplicada. Esta propriedade pode ser obtida através do ensaio de ultrassom, realizado conforme a NBR 15630 [16]. Este parâmetro foi incluído na NBR 13281 [1], que é a norma brasileira que caracteriza as argamassas de revestimento e assentamento. De acordo com a NBR 13281, o módulo de elasticidade deve ser menor que 14 GPa para revestimentos de paredes e tetos, pois valores acima deste seriam provenientes de argamassas mais rígidas, que apresentariam, assim, maior fragilidade e, portanto, não seriam indicadas para revestimentos.

Conforme estudo de [13] que determinou o Ed em argamassas com teores de substituição da areia por ADF entre 30% e 100%, foi possível concluir que os valores de Ed não apresentaram variações significativas até o teor de 30%, quando comparados com traço referência, variando de 36 GPa para 33GPa com ADF. Já o traço com 100% de ADF apresentou uma redução significativa para 18 GPa. Em estudo realizado por [17] houve também uma redução de 24 para 17 GPa entre a amostra referência e a amostra contendo 100% de ADF. Já a amostra com 30% apresentou um resultado mais próximo da referência, com 22 GPa de módulo de elasticidade.

Entretanto, o Ed de argamassas com ADF pode variar em função do lote, ou seja, das características físico-químicas como granulometria e composição química. Diante do apresentado, o presente estudo tem por objetivo classificar argamassas com 30%, conforme a NBR 13281:2023 [1].

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais empregados neste estudo foram Areia convencional (quartzosa), areia descartada de fundição (ADF), Cimento Portland CP II E-32 (NBR 16697 [18]) e Cal Hidratada. O lote de ADF foi fornecido por uma empresa do setor de fundição, localizada em Limeira - SP, oriunda do processo de moldagem conhecido como “areia verde” e classificada como II-A, ou seja, resíduo sólido não perigoso e não inerte [8]. A composição química da ADF está apresentada na tabela 1, conforme resultados das análises de Fluorescência de Raios X (FRX), assim como a perda ao fogo (PF).

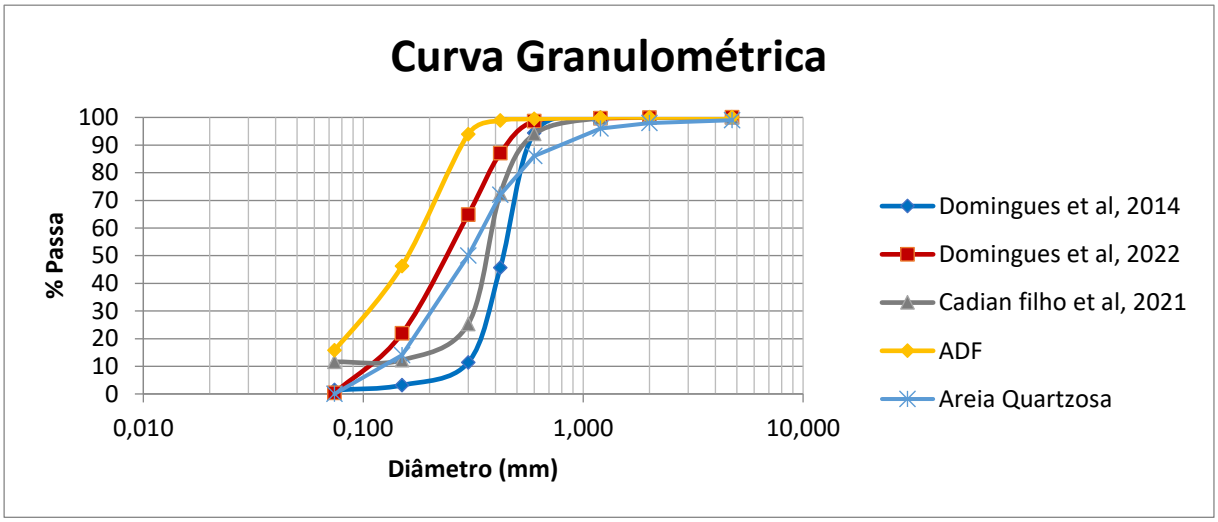
Tabela 1 – Fluorescência de Raio X (FRX) da ADF.

	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (%)	PF (%)
ADF	90,3	2,76	1,36	<0,10	0,42	0,19	0,3	0,18	0,15	<0,10	4,61

Fonte: Os autores (2025).

A granulometria da ADF e da areia quartzosa estão apresentados na Figura 1. Verifica-se que a ADF apresenta menor módulo de finura (MD= 1,17) do que a areia quartzosa MD= 1,82). Isso pode indicar que a substituição total da areia pela ADF pode ser prejudicial à argamassa, considerando a influência da areia nas propriedades do material, tanto no estado fresco como endurecido. Ao comparar com dados identificados na literatura, constata-se que que este lote é o mais fino, conforme estudos realizados por [19][20][21][21].

Figura 1 – Curvas granulométricas dos comparativas dos materiais utilizados e outros estudos.



Fonte: Os autores (2025).

As composições dos traços utilizados nas argamassas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Proporção (em massa) dos traços de argamassas estudados.

Traço	Cimento Portland	Cal Hidratada	Areia Quartzoza	ADF	Água/Aglomerante
T0	1	0,74	10,17	0	0,99
T30	1	0,74	7,12	2,58	1,25

Fonte: Os autores (2025).

Os valores da relação água/aglomerantes foram obtidos através dos ensaios de consistência (FlowTable), descritos nas normas NBR 16606 [22] e NBR 13276 [23]. Realizou-se a caracterização mecânica das argamassas através de ensaios de resistência à tração na flexão e compressão. Também foi obtido o módulo de elasticidade dinâmico (Ed), a partir da realização de ensaios de ultrassom. Na tabela 3, verificam-se as normas utilizadas nestes ensaios.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas das argamassas, NBR 13281-1 [1].

Ensaio	Norma ABNT
Resistência à tração na flexão e compressão	NBR 13279 [24]
Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido	NBR 13280 [25]
Módulo de Elasticidade dinâmico	NBR 15630 [15]

Fonte: Os autores (2025).

A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o software Origin PRO 2025, através do qual se realizou o teste Tukey para avaliar diferenças estatísticas entre os valores obtidos para as amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão (Rt) e resistência à compressão (Rc) das argamassas, juntamente com a densidade no estado endurecido. Além disso, estão apresentados dados da análise estatística descritiva (desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV)). Ao classificar as argamassas conforme requisitos da NBR 13281, parte 1 [1], identificou-se a mesma classificação (T0 e T30), apesar da redução dos valores de densidade e Rt.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios no estado endurecido e respectivas classes NBR 13281 [1].

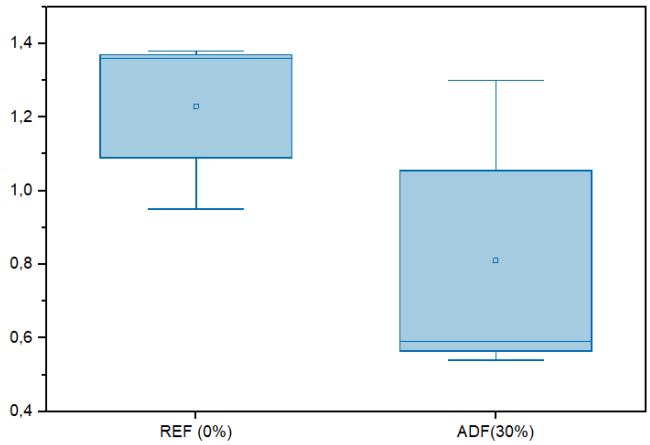
Traço	Densidade (kg/m3)	Classe	Rt (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Classe	Rc (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
T 0	1941,10	DE4	1,23	0,24	0,20	R2	5,34	0,60	0,11
T 30	1892,59	DE4	0,81	0,43	0,52	R2	4,40	0,47	0,11

Fonte: Os autores (2025).

As análises estatísticas dos resultados foram realizadas com auxílio do Software OriginPro 2025, com teste de normalidade e de variância (ANOVA). Também foi utilizado o teste Tukey para avaliar diferenças estatisticamente significativas entre as argamassas (T0 e T30),

considerando os valores de Rt e Rc. Os resultados desta análise estão apresentados nas figuras 3 a 8.

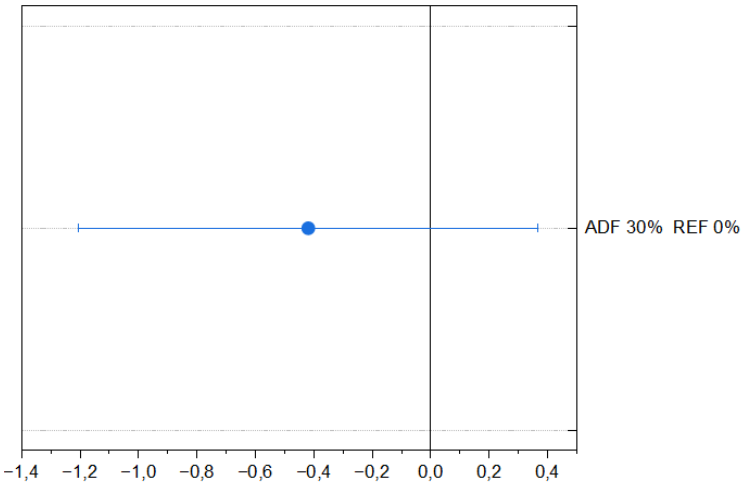
Figura 3 – Teste Tukey (ANOVA), para obter os valores médios e intervalos (máx. e mín.) dos resultados de resistência à tração na flexão dos traços de argamassas.



Fonte: Os autores (2025).

A figura 4 apresenta uma análise sobre a igualdade estatística entre os traços de argamassas, conforme resistência à tração na flexão (Rt). Tal análise mostra que há uma interação entre o traço T30 e o traço T0, ou seja, esses traços são iguais estatisticamente. Isso indica que a ADF não interferiu na Rt das argamassas, não impactando seu comportamento mecânico.

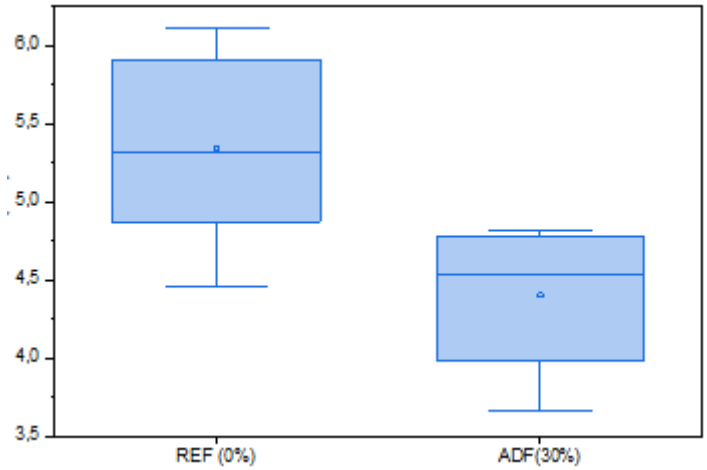
Figura 4 – Teste de Tukey da resistência à tração na flexão (Rt).



Fonte: Os autores (2025).

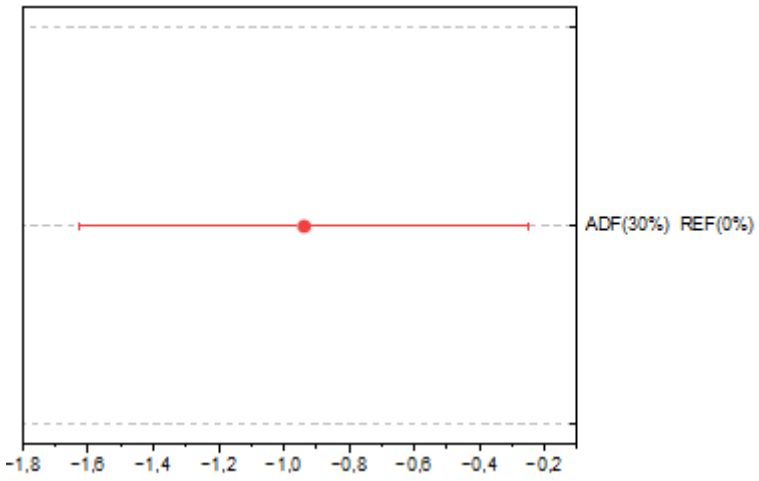
As figuras 5 e 6 apresentam os resultados das análises estatísticas para a Rc. O teste de Tukey indicou que não ocorreu interação estatística entre T0 e T30, ou seja, as 2 argamassas apresentam diferença estatística significativa para esse parâmetro. Portanto, a presença da ADF interferiu estatisticamente na Rc da argamassa.

Figura 5 – Teste ANOVA para obter os valores médios e intervalos (máx. e mín.) dos resultados de resistência à compressão (Rc) dos traços de argamassas.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 6 – Teste de Tukey da resistência à compressão (Rc).



Fonte: Os autores (2025).

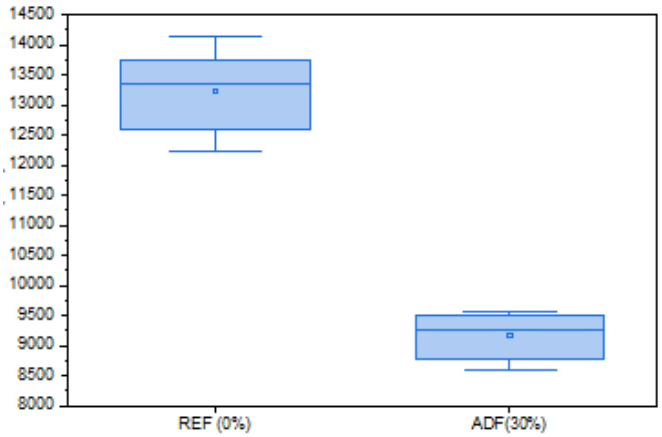
Já em relação ao módulo de elasticidade dinâmico (Ed), cujos valores estão apresentados na tabela 5, verifica-se também uma redução significativa do valor da argamassa T30 em relação à T0 (figuras 7 e 8). De acordo com a literatura, o Ed é um parâmetro muito importante para avaliar o desempenho das argamassas de revestimento [13]. Portanto, ao identificar que os valores de Rt foram iguais estatisticamente, mesmo com a maior redução do Ed da argamassa T30 (estatisticamente menor do que o T0), é possível indicar que a substituição parcial da areia por ADF melhorou o comportamento dessa argamassa (menor rigidez). Isso também está comprovado pela classificação (E1 – T0 e E3 – T30).

Tabela 5 – Resultados do Ed das argamassas [15], valores da análise estatística descritiva (CV e DP) e classificação conforme NBR 13281 [1].

Traço	Densidade	VPU	Ed	DP	CV	Classe
	(kg/m³)	(mm/ µs)	(GPa)		(%)	
T 0	1941,1	2,752	13,23	0,695	0,052	E1
T 30	1892,6	2,319	9,16	0,391	0,043	E3

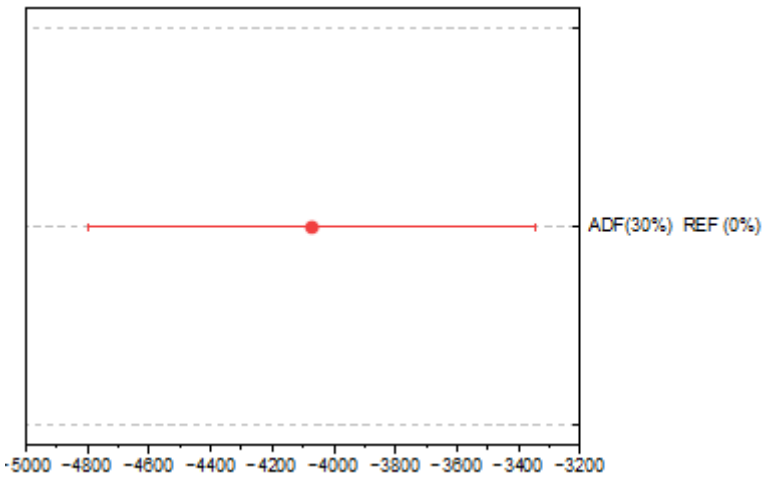
Fonte: Os autores (2025).

Figura 7 – Teste ANOVA para obter os valores médios e intervalos (máx. e mín.) dos resultados de módulo de elasticidade (E) dos traços de argamassas.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 8 – Teste de Tukey do módulo de elasticidade.



Fonte: Os autores (2025).

Conforme pode ser visto nas figuras 7 e 8, de acordo com o Teste Tukey, há diferença significativa entre os resultados (variação não inclui o zero no eixo horizontal). Sendo assim, a presença da ADF alterou significativamente o Ed da argamassa estudada, o que corrobora resultados de outros autores [13][17][26]. Isso ocorre porque a módulo de finura da ADF é

menor do que da areia quartzosa, o que resulta em maior área superficial granular para a mesma proporção de pasta cimentícia (sem aumentar o consumo de cimento). Com isso, há uma maior deformação para uma mesma tensão aplicada, o que reduz o valor de Ed.

CONCLUSÕES

A argamassa com 30% de substituição da areia convencional pela ADF apresentou resultados promissores, principalmente em relação à resistência à tração na flexão, cuja classificação foi igual ao traço REF (R2), conforme NBR 13281 – 1 [1]. Além disso, a Rt e densidade no estado endurecido foram iguais estatisticamente aos valores da argamassa REF (0%ADF).

Em relação à resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico (Ed), os valores da argamassa ADF30% foram estatisticamente inferiores aos da REF. Vale ressaltar que o Ed menor para argamassas de revestimento é mais adequado, pois resulta em menor rigidez, o que pode melhorar a capacidade de absorver as tensões oriundas das deformações entre a argamassa e substrato.

Para estudos futuros, pretende-se avaliar outros teores de ADF, buscando assim identificar o teor ótimo de substituição, tanto para as propriedades mecânicas como para o desempenho de argamassas de revestimento com ADF.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281** - Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2023.

[2] CARNIN, R. L. P.; STORTZ S.; NOROSCHNYI, R. O uso da areia descartada de fundição no reforço de subleito. **Revista FMP - ABIFA**, n.242, p.26-28, 2022. Disponível em https://www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2022/02/RevistaABIFA-Janeiro2022.pdfAcesso em: 26 setembro 2023.

[3] DYER, P. P. O. L.; DE LIMA, M. G. Waste foundry sand in hot mix asphalt: A review. **Construction and Building Materials**, v. 359, p. 129342, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129342

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO - ABIFA. **Revista ABIFA**. Disponível em: <https://abifa.org.br/RFMP-Dezembro-2024/Revista-ABIFA-RFMP-Dezembro-2024.html?search=produzidos#p=29>. Acesso em: 6 fev. 2025.

[5] MACHADO, D. M. J. R., GAMBALONGA JR., B., SIMÃO, L., RIBEIRO, M. J., MONTEDO, O. R. K., RAUPP-PEREIRA, F., ARCARO, S. Valorization of Brazilian waste foundry sand from circular economy perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 407, p. 137046, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137046

[6] BHARDWAJ, B.; KUMAR, P. Waste foundry sand in concrete: A review. **Construction and Building Materials.** v. ,2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.010

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15702** - Areias descartadas de fundição – aplicações em asfalto e em aterro sanitário. Rio de Janeiro, 2009.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** – Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2024.

[9] SABOUR, R. S.; DERHAMJANI, G.; AKBARI, M.; HATAMI, A. M. Global trends and status in waste foundry sand management research during the years 1971-2020: a systematic analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, n.28, p.37312-37321, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-021-13251-8

[10] SANGAVI, D.; ANGU SENTHIL, K. Utilisation of Foundry Sand in Concrete-A Review. **International Research Journal of Multidisciplinary Technovation**, v. 1, n. 6, p. 383–386, 2019. DOI: https://doi.org/10.34256/irjmtcon51

[11] RAWTHER, S.; SEKHAR, D. A Comprehensive Evaluation of Used Foundry Sand in Concrete. **International Journal of Advance Research in Science and Engineering**, v. 6-11, 7 p., 2017.

[12] GARCÍA DEL ANGEL, G., SAINZ-AJA, J. A., TAMAYO, P., CIMENTADA, A., CABRERA, R., PESTANA, L. R., THOMAS, C. Effect of Recycled Foundry Sand on the Workability and Mechanical Properties of Mortar. **Applied Sciences**, v. 13, n. 6, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/app13063436

[13] P. Paul, K. L. Apedo, E. Belhaj, e F. Feugeas, “Effect of waste chemical foundry sand on mechanical properties and damage process of cementitious materials using digital image correlation technology”, **Journal of Cleaner Production**, v. 368, set. 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.133103.

[14] THAMARAISELVI, N.; SAKTHIESWARAN, N.; BABU, O. G. **Improving the performance of mortar containing industrial wastes**. Materials Today: Proceedings. **Anais**...Elsevier Ltd, 2020.

[15] NYEMBWE, J. K., MAKHATHA, M. E., BANGANAYI, F. C., NYEMBWE, K. Characterization of Foundry Waste Sand Streams for Recycling Applications in Construction Industry. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, n. 9, p. 1681–1686, 2018. DOI: https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-017-9894-0

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.

[17] MASSOLLA, D, A., FERREIRA, G. C. S., MOURA, C. R., SBROIO, I. J., LIMA, T. G. Resistência de aderência de argamassas cimentícias com areia descartada de fundição. **Anais do 65º Congresso Brasileiro do concreto**, out 2024, ISSN 2175-8182

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697** - Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

[19] DOMINGUES, L. G. F.; FERREIRA, G. C. S.; PIRES, M. S. G. Physicochemical and microbiological characteristics of waste foundry sand used in landfills. **Environmental**

Monitoring and Assessment, v. 194, n. 10, p. 1–14, 1 out. 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10661-022-10355-7

[20] DOMINGUES, L. G. F., FERREIRA, G. C. S., PIRES, M. G. S., TEIXEIRA, I. Viabilidade técnica e ambiental de misturas de solo com areia descartada de fundição**. TRANSPORTES**, v. 22, n. 2, p. 62–69, 15 jul. 2014. DOI: Https://doi.org/10.14295/transportes.v22i2.728

[21] CANDIAN FILHO, E. L., FERREIRA, G. C. S., NOGAROTTO, D. C., POZZA, S. A. Pervious concrete with waste foundry sand: mechanical and hydraulic properties. **Matéria**, v. 27, n. 1, p. e13154, 16 maio 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/S1517-707620220001.1354

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR** 16606 - Cimento Portland - Determinação Da Pasta de Consistência Normal. Rio de Janeiro, 2018.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Resistência à tração na flexão e compressão**.** Rio de Janeiro, 2005.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

[26] Torres, A., Bartlett, L., Pilgrim, C. Effect of foundry waste on the mechanical properties of Portland Cement Concrete**. Construction and Building Materials**, v. 135, 674–681, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.028