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

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS NATURAIS POR AREIAS DE LEITO FLUIDIZADO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

Influence of replacing natural aggregates with fluidized bed sand in mortar production

MARIA EDUARDA ROSA MARCELINA[1], JULIANA MACHADO CASALI [2], CRISTIANA GONILHO PEREIRA[3]

[1] Acadêmica de Engenharia Civil, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), maria.rm@aluno.ifsc.edu.br
[2]Professora, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), juliana.casali@ifsc.edu.br
[3]Professora, Instituto Politécnico de Setúbal, Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, cristiana.pereira@estbarreiro.ips.pt

RESUMO

A transição energética global incentiva a reutilização de resíduos na construção civil. Este estudo avaliou a substituição de agregados naturais por areias de leito fluidizado (ALF) de centrais de queima biomassa em argamassas. Foram analisadas argamassas de referência, com substituição parcial e total por ALF, além de ALF modificada (granulometria ajustada à areia natural 0/4). A caracterização física e mecânica das argamassas (estados fresco e endurecido) indicou viabilidade da substituição, apesar da redução na trabalhabilidade e resistências mecânicas (tração na flexão e compressão) e do aumento da porosidade. Conclui-se que as ALF são alternativas sustentáveis, reduzindo a extração de recursos naturais.

Palavras-chave: Argamassas, sustentabilidade, biomassa, resíduos, areias de leito fluidizado.

ABSTRACT

The global energy transition encourages the reuse of waste in the construction industry. This study evaluated the replacement of natural aggregates with fluidized bed sand (FBS) from biomass power plants in mortars. Mortars with reference composition, 100% FBS, 50% FBS, 100% modified FBS (adjusted granulometry), and 50% modified FBS were analyzed. Mortars physical and mechanical characterization (fresh and hardened states) indicated the feasibility of replacement, despite reduced workability and mechanical strengths (flexural and compressive), as well as increased porosity and water absorption. It is concluded that FBS is a sustainable alternative, reducing the extraction of natural resources.

Key words: Mortars sustainability, biomass, waste materials, fluidized bed sands.

Como citar:
MARCELINA, M. E. R, CASALI, J. M., PEREIRA, C. G. Influência da substituição de agregados naturais por areias de leito fluidizado na produção de argamassas. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais e energia, gerando impactos ambientais significativos. Para mitigar esses efeitos, inovações tecnológicas e práticas sustentáveis são essenciais para alcançar os "Objetivos de Desenvolvimento Sustentável" (ODS). O desenvolvimento de tecnologias e soluções inovadoras é fundamental para tornar a construção mais eficiente, segura, de qualidade e com menor impacto ambiental, seja pelo aproveitamento de resíduos ou pelo desenvolvimento de novos materiais e processos [1] [2].

A identificação dos pontos críticos do setor permite direcionar pesquisas para soluções sustentáveis. Estudos apontam que a construção civil representa cerca de 40% do consumo global de recursos naturais, com a areia sendo um dos materiais mais explorados, causando degradação de ecossistemas aquáticos e alteração de cursos d'água. A extração descontrolada desse recurso compromete rios, lagos e ecossistemas costeiros, além de gerar conflitos sociais [3] [4].

Segundo a Leiden University [5], a demanda global por areia pode crescer até 45% até 2060. Diante desse cenário, a substituição de areia natural por resíduos industriais surge como uma alternativa viável para reduzir os impactos ambientais e promover uma construção mais sustentável.

As areias de leito fluidizado são um subproduto da combustão de biomassa em caldeiras de leito fluidizado e representam um resíduo com potencial para aplicação em materiais cimentícios e outros. Com o tempo, essas areias sofrem degradação e precisam ser descartadas, podendo ser classificadas como resíduos perigosos ou não, dependendo de sua composição química e da presença de contaminantes. As areias de leito fluidizado que, quando devidamente caracterizadas e tratadas, podem ser incorporadas em argamassas e concretos, contribuindo para a economia circular e reduzindo impactos ambientais.

A incorporação de resíduos na produção de argamassas é uma prática recente, mas viável, conforme estudos sobre o uso de resíduos de concreto triturado e vidro e cerâmica [6] [7]. Nesse contexto, a areias de leito fluidizado surge como uma solução promissora, pois não apenas reduz a dependência de recursos naturais, mas também contribui para a gestão sustentável de resíduos [8].

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da substituição total ou parcial das areias naturais por areias de leito fluidizado na produção de argamassas, analisando as propriedades no estado fresco e no estado endurecido.

MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental teve como objetivo avaliar o comportamento das argamassas avaliando as propriedades no estado fresco e no estado endurecido, com a substituição parcial ou total dos agregados naturais por areias de leito fluidizado. As propriedades analisadas incluíram consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado, porosidade aberta, resistência à tração por flexão e resistência à compressão.

Os materiais utilizados no estudo foram cimento Portland de calcário (CEM II/B-L 32,5 N), areia fina natural (0/2) proveniente da Herdade da Mesquita, em Sesimbra, e areia grossa natural (0/4) do Pinhal Conde Cunha 4, no Seixal, ambas em Portugal. As areias de leito fluidizado (ALF) foram fornecidas pelo Grupo The Navigator Company, indústria de pasta de papel com instalações industriais em Setúbal, Portugal. As misturas foram preparadas com um traço de 1:3 (cimento: agregados finos em volume) e uma relação água/cimento de 0,7 em massa.

Foram estudados quatro tipos de argamassas, conforme descrito a seguir:

1. **Argamassa de referência (REF)**: produzida 100% com agregados naturais (50% areia fina 0/2 + 50% areia grossa 0/4).
2. **Argamassa ALF**: substituição total dos agregados naturais por areias de leito fluidizado (100% de ALF).
3. **Argamassa ALF+0/2**: Substituição parcial dos agregados naturais por ALF (ALF+0/2). utilizando 66,6% de areia de leito fluidizado.
4. **Argamassa ALFmod+0/2**: Substituição parcial dos agregados naturais por ALF com granulometria modificada (ALFmod+0/2) – granulometria ajustada para aproximar-se da granulometria da areia natural 0/4, utilizando 66,6% de areia de leito fluidizado.

Primeiramente foi realizada a caracterização dos agregados: composição granulométrica (conforme a norma NP EN 933-1 [9]), massa unitária ou baridade, (conforme EN 1097-6 [11]) e massa específica aparente (conforme NP EN 1097-3 [12]).

Após essa caracterização foi produzida uma areia de leito fluidizada (ALFmod) por meio da mistura de frações de ALF com granulometrias distintas, ajustando sua curva granulométrica para aproximar-se à da areia natural 0/4 (Figura 3). O objetivo da produção da ALFmod foi a de eliminar a variável associada à distribuição granulométrica no desempenho das argamassas. Cabe salientar que foi interessante avaliar o desempenho das argamassas produzidas com (Argamassa ALFmod+0/2) e sem esta modificação (Argamassa ALF e Argamassa AFL+0/2).

Em seguida foram produzidas e dosadas as argamassas (REF, ALF, ALF+0/2 e ALFmod+0/2). Na Tabela 1 é apresenta a composição das argamassas produzidas.

Tabela 1 – Composição das argamassas por m^3 de argamassa produzida.

Material	Massa (kg)			
	REF	ALF	ALF+0/2	ALFmod+0/2
Cimento	376,0	395,2	392,2	388,4
Areia natural (0/2)	468,6	1404,0	488,7	484,0
ALFmod	974,4	1404,0	928,8	943,0
Água	263,2	276,6	274,5	271,9
Densidade de massa teórica* [kg/m^3]	2082,2	2075,8	2084,2	2087,3

* Massa volúmica específica – termo da norma EN 1097-6:2014

Fonte: Os autores (2025).

Os materiais foram previamente misturados a seco e, em seguida, adicionados à misturadora mecânica, com a água sendo incorporada gradualmente. O tempo total de mistura foi de aproximadamente 7 minutos para todas as formulações. E foram avaliadas as seguintes propriedades no estado fresco: consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado.

A consistência foi obtida pelo índice de consistência (*flow table*) ou consistência por espalhamento NP EN1015-3/A1 [13]. Neste ensaio, o diâmetro final foi medido em quatro direções, e sua média determinou o índice de consistência das argamassas e foram realizados dois ensaios por argamassa.

Para a densidade de massa no estado fresco ou massa volúmica aparente conforme EN 1015-6 [14]. Neste ensaio um recipiente de volume conhecido é preenchido com argamassa, compactando em camadas para evitar a formação de vazios, e em seguida foi nivelada a superfície e então determinado a densidade de massa.

O teor de ar incorporado foi determinado conforme EN 1015-7 [15] utilizando o aparelho Air Meter, o recipiente de volume conhecido foi preenchido com a argamassa fresca, compactado para eliminar vazios e nivelando sua superfície no fim. Em seguida, o aparelho foi fechado hermeticamente e preenchido com água até um nível específico. Após isso, é aplicado uma pressão controlada e um visor registra o nível de queda da água, que corresponde ao volume de ar incorporado na argamassa, o resultado sendo expresso em percentual.

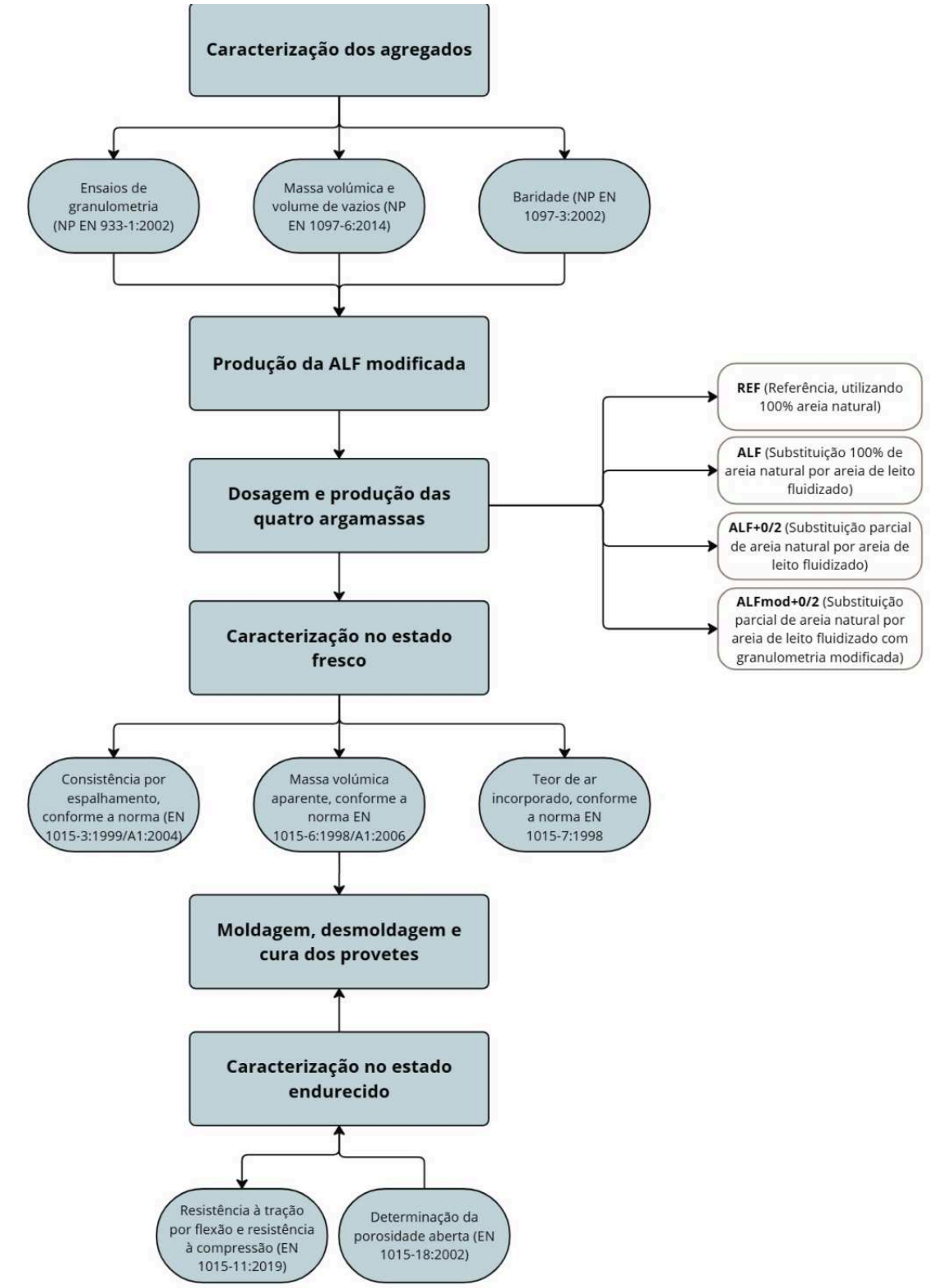
Após a preparação das misturas, as argamassas foram moldadas em moldes 40x40x160 cm, utilizando o processo de adensamento mecânico, com 60 golpes, conforme EM 1015-11 [16].

Após a desmoldagem com 24 horas, os corpos de prova foram armazenados em condições ambientais controladas ao ar até as idades de ensaio de 7 e 28 dias.

As propriedades no estado endurecido foram: resistência à tração na flexão, resistência à compressão e porosidade aberta. A resistência à tração na flexão foi determinada conforme NP EN 1015-11 [16] (Figura 2). Já o ensaio de resistência à compressão, também realizado conforme NP EN 1015-11 [16], a metade do corpo de prova, restante do ensaio de flexão, foi realizada a ruptura. E por fim, foi-se realizado o ensaio de porosidade aberta, conforme EN 1015-18 (adaptada) [18]. Nesse ensaio foi realizado pesando os corpos de prova secos, após passarem pela estufa, depois os corpos de prova foram colocados em um dessecador de vidro e passaram pelo processo de vácuo e adição de água para saturação. Após alguns dias em contato com a água, os corpos de prova são pesados de duas formas: imersos em água e saturados. Com esses valores, consegue-se calcular a porosidade aberta da argamassa.

Para exemplificar, o programa experimental foi estruturado conforme a Figura 21 que demonstra em fluxograma os processos do programa experimental. E a Figura 2 ilustra as etapas representadas no fluxograma.

Figura 1 - Fluxograma com etapas do programa experimental.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 2 - Programa experimental.



Fonte: Os autores (2025).

Por fim, os resultados obtidos foram comparados entre os diferentes tipos de argamassa, permitindo avaliar a influência da substituição dos agregados naturais por areia de leite fluidizado (AFL) nas propriedades analisadas.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Na Tabela 2 é apresentada a massa específica aparente e a massa unitária dos diferentes agregados.

Tabela 2 - Massa específica, volume de vazios e massa unitária dos agregados e cimento Portland.

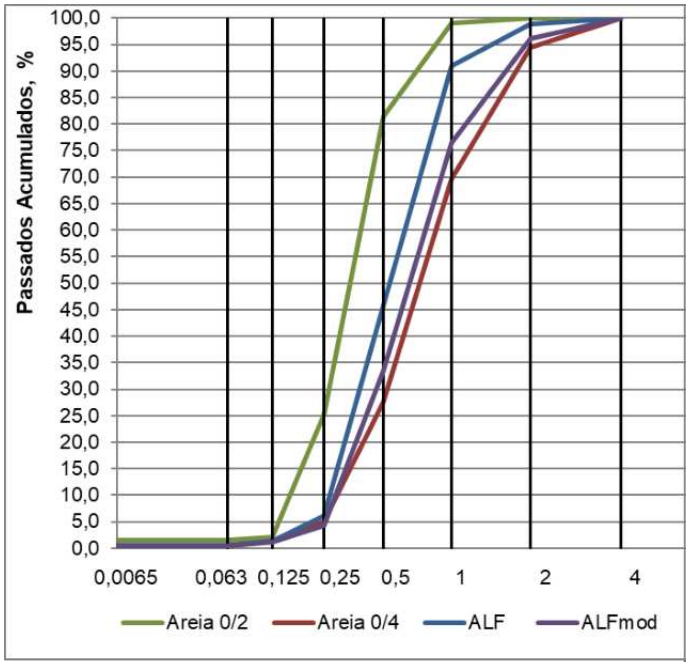
Material utilizado	Massa específica aparente* (kg/m³)	Volume de vazios [%]	Massa unitária** (kg/m³)
AREIA 0/2	2503	37	1496
AREIA 0/4	2435	33	1555
ALF (conforme fornecimento)	2472	40	1421
ALFmod (granulometria modificada)	2472	40	1457
Cimento Portland CEM II/B-L 32,5 N	3150	-	1200

* Correspondente a massa volúmica específica
** Correspondente a baridade

Fonte: Os autores (2025).

No que diz respeito os valores de massa unitária apresentados pelas areias naturais e pelas ALF/ALFmod na Tabela 2 mostram que o processo de calcinação a que estão sujeitas na central de queima de biomassa não impacta neste parâmetro. O ajuste da granulometria da ALFmod conduz a um pequeno melhoramento do arranjo das partículas, conforme as curvas granulométricas das areias estudadas apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Curva granulométrica das areias utilizadas.



Fonte: Os autores (2025).

PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Na Tabela 3 são apresentados os valores obtidos nas propriedades do estado fresco das argamassas estudadas.

Tabela 3 - Consistência (média de 4 leituras em 2 ensaios), densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas.

Argamassa	Índice de Consistência (mm)	D.P.* (mm)	Densidade de massa** (kg/m³)	Teor de ar incorporado (%)
REF	199	2,75	2080,6	9,4
ALF	142	4,39	2031,0	9,4
ALF+0/2	173	5,17	1991,2	12,0
ALFmod+0/2	171	5,08	2019,6	9,6

*D.P. – desvio-padrão
** Massa volúmica aparente

Fonte: Os autores (2025).

A argamassa de referência (REF) apresenta um índice de consistência de 199mm e as argamassas com substituição total ou parcial dos agregados por ALF/ALFmod, apresentam um valor menor, indicando um aumento da consistência e, consequente, diminuição da trabalhabilidade das argamassas, conforme Tabela 3.

Verifica-se que a substituição das areias naturais por ALF impacta significativamente nos valores de índice de consistência obtido, sendo a substituição total de areias naturais a que apresenta uma mais significativa de redução desse valor, cerca de 29%.

As argamassas ALF+0/2 e ALFmod+0/2, apresentam valores de consistência intermediarios, indicando que a substituição parcial parece ser mais viável do que a substituição total, neste parâmetro. Além disso, foram as argamassas com substituição parcial dos agregados naturais por ALF as que apresentaram maior dispersão nas medidas de índice de consistência em relação ao valor médio. Esta diminuição dos valores, quando comparado com a argamassa REF pode ser atribuído à natureza da ALF, que pode ter uma maior absorção de água ou ter partículas mais irregulares, diminuindo a fluidez da mistura.

A argamassa REF apresentar os maiores valores de índice de consistência, , com a densidade de massa mais elevada e, consequentemente, menorteor de ar incoporado. As argamassas com substituição de areia natural por ALF apresentam densidade de massa mais baixas quando comparadas com a REF e teor de ar incoporado igual ou superior. Recorda-se que a massa unitária da ALF e ALFmod é inferior à das areias naturais, o que resulta de um arranjo das particulas do agregado inferior aos das areias naturais, refletindo pelos resultados obtidos no estado fresco. Quando comparada com a argamassa de referência (Ref), a diminuição do espalhamento é na ordem de 29% (ALF), 13% (ALF+0/2) e 14% (ALFmod+0/2). A diminuição da massa específica aparente é cerca de 2% (ALF), 4% (ALF+0/2) e 3% (ALFmod+0/2).

A diminuição dos valores de índice de consistência pode ser atribuída a diversos fatores, tais como às massa unitária mais baixas das ALF em comparação com a dos agregados naturais que pode comprometer o melhor empacotamento das partículas. Se além disso associar uma maior irregularidade das partículas e/ou maior absorção de água, a fluidez da mistura diminui significativamente.

Em relação ao teor de ar incorporado, verifica-se que este parâmetro está diretamente relacionado com a densidade de massa – argamassas com densidade de massa mais elevadas apresentam teores de ar incorporado mais baixos. Observou-se que a substituição das areias naturais pelo resíduo não influênciou significativamente nos valores de teor de ar incorporado avaliados.

PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos aos 7 dias e a Tabela 5 apresenta os resultados obtidos em 28 dias de idade.

Como esperado, a argamassa REF é a que apresenta as massas específicas mais elevadas e porosidade aberta mais baixa (Tabela 4). Observa-se que não foram verificadas diferenças significativas entre as argamassas ALF e ALF+0/2 em relação à porosidade aberta. A argamasssa ALFmod+0/2, dentre as argamassas com substituição, é aquela que apresenta porosidade aberta mais baixa, tanto aos 7 dias quanto aos 28 dias de idade.

Tabela 4 - Porosidade aberta, massa específica e massa específica aparente aos 7 dias.

Argamassa	Porosidade Aberta [%]	D. P.* (%)	Massa específica ** (kg/m³)	D. P.* (kg/m³)	Massa específica aparente*** (kg/m³)	D. P.* (kg/m³)
REF	23,5	0,26	2600	2,9	1989	6,5
ALF	26,8	0,50	2588	10,41	1893	10,48
ALF+0/2	26,7	0,24	2586	6,58	1897	6,66
ALFmod+0/2	25,7	0,35	2586	4,52	1921	9,96

* D.P. – desvio-padrão
** Correspondente a massa volúmica específica (sem considerar os vazios, isto é, poros abertos)
*** Massa volúmica aparente (incluindo os vazios – volume aparente da argamassa)

Fonte: Os autores (2025).

Tabela 5 - Porosidade aberta, masssa específica e massa específica aparente aos 28 dias.

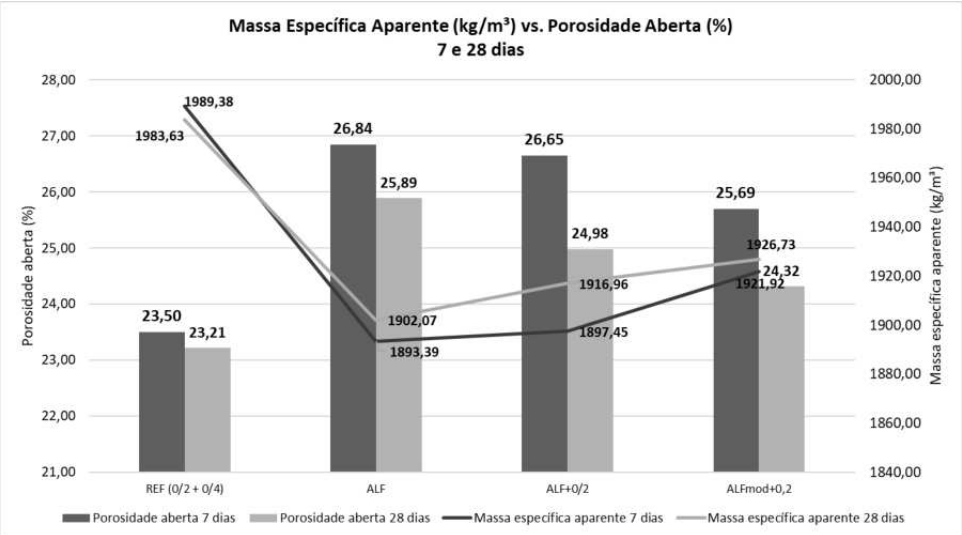
Argamassa	Porosidade Aberta [%]	D. P.* [%]	Massa específica** [kg/m³]	D. P.* [kg/m3]	Massa específica aparente*** [kg/m³]	D. P.* [kg/m3]
REF	23,3	0,16	2583	5,2	1984	5,4
ALF	24,9	2,45	2566	4,4	1902	6,8
ALF+0/2	25,0	0,15	2555	3,9	1916	3,3
ALFmod+0/2	24,3	0,46	2545	12,7	1926	2,9

* D.P. – desvio-padrão
** Correspondente a massa volúmica específica (sem considerar os vazios, isto é, poros abertos)
*** Massa volúmica aparente (incluindo os vazios – volume aparente da argamassa)

Fonte: Os autores (2025).

A relação entre a massa específica aparente e a porosidade aberta das argamassas (Figura 4) demonstra uma tendência esperada: à medida que a massa específica aparente diminui, a porosidade aberta tende aumentar.

Figura 4 - Massa específica aparente e porosidade aberta das argamassas aos 7 e 28 dias.



Fonte: Os autores (2025).

Em relação ao desempenho mecânico das argamassas, a Tabela 6, a Figura 5 e a Figura 6 apresentam as resistências médias obtidas aos 7 e 28 dias.

Tabela 6 - Resistência à tração na flexão e resistência à compressão, aos 7 e 28 dias.

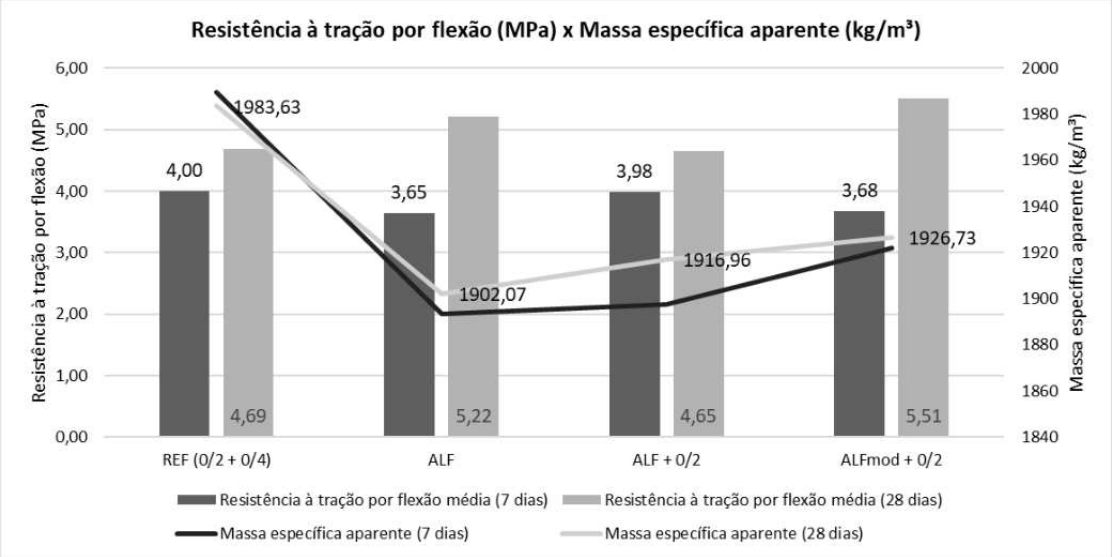
Argamassa	Resistência à tração na flexão [MPa]				Resistência à compressão [MPa]			
	07 dias	D.P.* (Mpa)	28 dias	D.P.* (Mpa)	7 dias	D.P.* (Mpa)	28 dias	D.P.* (Mpa)
REF	4,00	0,28	4,69	0,17	15,94	0,43	21,98	1,19
ALF	3,65	0,49	5,22	0,50	15,08	0,54	19,81	1,05
ALF + 0/2	3,98	0,36	4,65	0,34	14,84	0,79	20,60	0,29
ALFmod + 0/2	3,68	0,56	5,51	0,23	15,43	0,34	28,59	0,48

* D.P. – desvio-padrão

Fonte: Os autores (2025).

Aos 7 dias de idade, as argamassas com substituição de areia natural por ALF apresentam resistência à tração na flexão inferior ao da REF, sendo, 9% (ALF), 1% (ALF+0/2) e 8% (ALFmod+0/2). Aos 28 dias, a ALF apresenta resistência 11% maior do que a REF, seguida pela ALFmod+0/2 (17%) (Figura 5).

Figura 5 - Resistência à tração na flexão aos 7 e 28 dias.

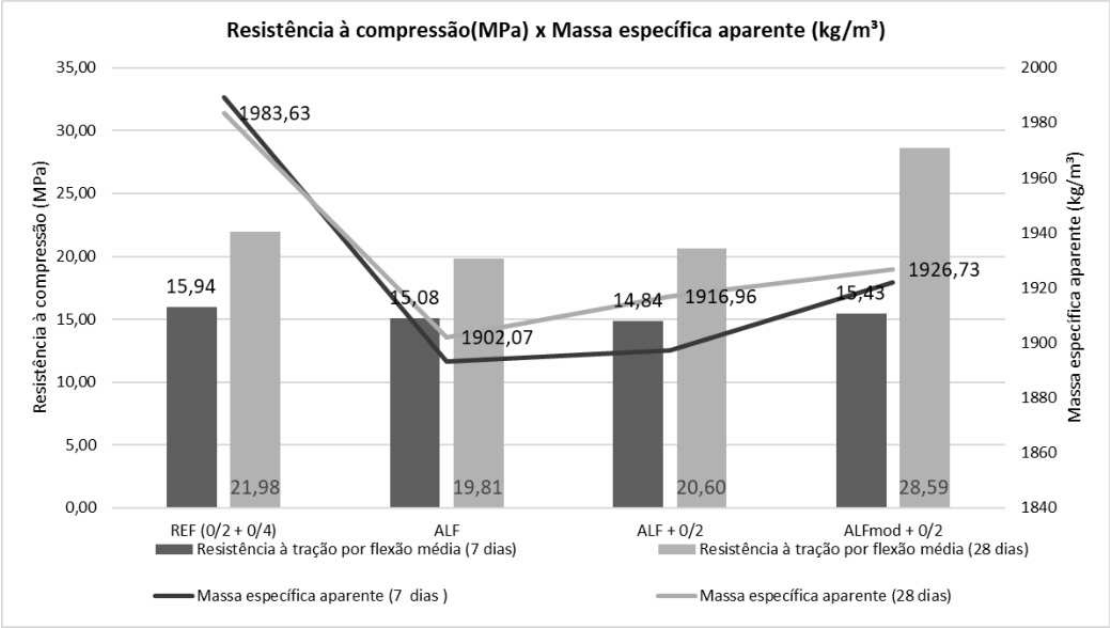


Fonte: Os autores (2025).

Nota-se na Figura 5 que as argamassas incorporadas com ALF, seja total ou parcialmente, tendem a diminuir a resistência à tração por flexão. Segundo Silva [20] , agregados reciclados, devido ou à sua maior porosidade e ou menor densidade, tendem a reduzir a resistência inicial à flexão. No entanto, com o aumento das reações de hidratação do cimento Portland, a aderência entre a matriz cimentícia e os agregados reciclados pode melhorar, resultando em ganhos de resistência ao longo do tempo. Observa-se que a resistência aumenta com o tempo de cura em todas as amostras, sendo que a composição ALFmod+0/2 , resultou no maior ganho de resistência com o tempo, superando a resistência da REF. As argamassas REF e ALF+0/2 apresentam resultados semelhante.

No que diz respeito à resistência à compressão (Figura 6), aos 7 dias, verifica-se que a substituição de areia natural por ALF provocou uma diminuição de resistência em 5% (ALF), 7% (ALF+0/2) e 3% (ALFmod+0/2). Aos 28 dias as diminuições de resistência à compressão obtidas foram de 10% (ALF) e 6% (ALF+0/2). A ALFmod+0/2 superior a resistência à compressão da REF em 30%.

Figura 6 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias.



Fonte: Os autores (2025).

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que a substituição parcial ou total da areia natural por areias de leito fluidizado (ALF) apresenta-se tecnicamente viável e ambientalmente benéfica na produção de argamassas.

No estado fresco, a incorporação de ALF reduziu o índice de consistência das argamassas, aumentando a consistência e consequentemente diminuindo a trabalhabilidade. Esse efeito foi mais evidente na argamassa ALF, enquanto as formulações ALF+0/2 e ALFmod+0/2 apresentaram comportamento intermediário, indicando que a substituição parcial é mais equilibrada. Além disso, as argamassas com ALF tiveram valores iguais ou ligeiramente supeiores de teor de ar incorporado em comparação com a referência (REF).

No estado endurecido, a substituição de agregados naturais por ALF aumentou a porosidade e reduziu a massa específica, afetando o desempenho mecânico. A argamassa REF apresentou menor porosidade, enquanto a ALFmod+0/2 obteve melhores resultados, sugerindo que ajustes granulométricos podem otimizar o desempenho.

Nas idades de 7 dias, as argamassas com ALF tendem a apresentar resistências mecânicas ligeiramente inferiores, especialmente resistência de tração na flexão, devido à maior consistência, maior porosidade e menor massa específica aparente. Já aos 28 dias, e com o

avanço das reações de hidratação do cimento Portland, as composições com substituição parcial e com ajuste granulométrico (ALFmod+0/2) demonstram um aumento da resistência à compressão, superando à argamassa REF,. Isso indica que, embora os parâmetros do estado fresco influenciem fortemente o desempenho inicial, a evolução da microestrutura cimentícia pode mitigar esses efeitos e melhorar a ligação entre os constituintes.

Portanto, a substituição parcial da areia natural por areia de leite fluidizado, especialmente na forma modificada, pode reduzir a extração de recursos naturais e valorizar resíduos industriais, promovendo práticas sustentáveis na construção civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal pelo apoio ao Projeto de Investigação Exploratória – ARSus - Argamassas de Revestimento Sustentáveis e ao Programa de intercâmbio PROPICIE, do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). Agradecem ao grupo The Navigator Company, indústria de pasta de papel, pelo fornecimento das matérias residuais - Areias do Leito Fluidizado.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção sustentável**. s.d. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html. Acesso em: 25 jan. 2025.

[2] MASUERO, A. B. Desenvolvimento de tecnologias e soluções inovadoras para a sustentabilidade na construção civil. **Revista Técnica**, ISSN 1517-7076, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rmat/a/GDN9wNDzpwYVRntQYk73z7S/?lang=pt. Acesso em: 23 jan. 2025.

[3] JOHN, V. M. **Agregados Reciclados para Argamassas e Concretos**. São Paulo: Editora Pini, 2000.

[4] UNEP (United Nations Environment Programme). **Sand and Sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources**. 2019. Disponível em: https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/28163. Acesso em: 13 jan. 2025.

[5] ZHONG, X.; DEETMAN, S.; TUKKER, A.; BEHRENS, P. Increasing material efficiencies of buildings to address the global sand crisis. **Nat Sustain** 5, 389–392 (2022). https://doi.org/10.1038/s41893-022-00857-0.

[6] PEREIRA, L.; SANTOS, P. **Resíduos reciclados como componentes de argamassas**. Portugal, [s.d.]. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstreams/20667151-5e9a-4f9b-abc7-e77d17138f96/download. Acesso em: 25 jan. 2025.

[7] MARQUES, A. **Utilização energética da biomassa em Portugal**. Lisboa, 2015.Disponívelem:

https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/o_xUy2hBSqhuqpos4cwYjorYSxMpCUYVkGf6. Acesso em 20 jan.2025.

[8] SILVA, A. S.; BRITO, J. Utilização de resíduos industriais na produção de materiais de construção: Uma revisão. **Revista Matéria**, v. 25, n. 3, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rmat/a/. Acesso em: 25 jan. 2025.

[9] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **NP EN 933-1**: 2014 - Ensaios das propriedades geométricas dos agregados; Parte 1: Análise granulométrica; Método da peneiração.

[10] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **NP EN 1097-3**: 2002 - Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados; Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios.

[12] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **NP EN 1097-6**: 2002 - Propriedades Mecânicas e Físicas Agregados. Determinação da massa volúmica e da absorção de água.

[13] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **NP EN 1015-3**/A1/A2:1999/2004/2006. Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).

[14] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE**. NP EN 1015-6:1998.** Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar.

[15] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **NP EN 1015-7:1998**. Methods of test for mortar for masonry -. Part 7: Determination of air content of fresh mortar

[16] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **NP EN 1015-11: 1999**. Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.

[17] INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **NP EN 1015-18:2002**. Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption due to capillary action of hardened mortar

[18] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Editora Pini, 2014.

[19] SILVA, L. Modolo, R. Ferreira, V.M., Labrincha, J.A., Sequeira P. **Utilização e Valorização de resíduos de Areias do Leito Fluidizado e de Lamas de Corte de Pedra em Argamassas**. Exemplos de Aplicação. Aveiro, Universidade de Aveiro, [s.d.]. Disponível em: https://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/paper%2062_2010.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025