



AVALIAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO NAS PLACAS CIMENTÍCIAS PRODUZIDAS COM O REAPROVEITAMENTO DE SACOS DE CIMENTO PORTLAND

EVALUATION OF BULK DENSITY AND FLEXURAL TENSILE STRENGTH IN CEMENTITIOUS BOARDS PRODUCED WITH THE REUSE OF PORTLAND CEMENT BAGS

Ricardo Calheiros Soares

Mestre em Engenharia Industrial (UFBA)
Instituto Federal de Alagoas – IFAL
ricardo.soares@ifal.edu.br

RESUMO

Tendo em vista o esgotamento de recursos naturais e a destinação inadequada de resíduos sólidos na construção civil, este trabalho apresenta uma metodologia voltada à redução do impacto ambiental e do custo associado ao descarte de embalagens de cimento Portland, por meio de sua reutilização na produção de placas cimentícias. Esses elementos não estruturais, empregados como vedação em sistemas construtivos, exigem baixa densidade e atendimento à resistência mínima à tração na flexão. Propõe-se a fabricação de placas a partir do tratamento dos sacos de cimento, convertidos em fibras. As placas foram produzidas com teor de 5% de fibras em relação à massa de areia, conforme estudo previamente validado, e posteriormente submetidas à cura. Após a verificação geométrica, determinaram-se a densidade aparente e o desempenho mecânico das placas segundo a norma técnica de referência. Os resultados foram satisfatórios, com densidade aparente de aproximadamente $1,5 \text{ g/cm}^3$ e resistência à tração na flexão próxima de 18 MPa. Assim, a reutilização de embalagens de cimento na produção de placas cimentícias mostra-se uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável.

Palavras-chave: Economia circular. Placas cimentícias. Resíduos sólidos. Sacos de cimento.

ABSTRACT

Given the depletion of natural resources and the inadequate disposal of solid waste in the construction sector, this study presents a methodology aimed at reducing both the environmental impact and the costs associated with the disposal of Portland cement bags by reusing them in the production of fibre-cement boards. These non-structural elements, used as cladding in building systems, require low density and compliance with minimum flexural tensile strength. The proposed approach consists of manufacturing boards using fibres obtained from the processing of cement bags. The boards were produced with a fibre content of 5% relative to the sand mass, based on a previously validated study, and subsequently subjected to curing. After geometrical verification, the apparent density and mechanical performance were assessed in accordance with the relevant technical standard. The results were satisfactory, with an apparent density of approximately 1.5 g/cm³ and flexural tensile strength close to 18 MPa. Therefore, the reuse of cement bags for the production of fibre-cement boards proves to be a technically feasible and environmentally sustainable alternative.

Keywords: Circular economy. Cementitious boards. Solid waste. Cement bags.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil é uma das esferas de maior potencial econômico, segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2020). Para a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC, 2019), a indústria de pré-fabricados, a qual inclui as placas cimentícias, é uma das que mais cresce no país, em comparação com os outros subsetores da construção e uma grande consumidora de sacos de cimento.

O papel kraft dos sacos, contaminado com o cimento Portland, apresenta um grande problema ambiental quanto à quantidade descartada, logística reversa e os custos para destinação adequada (ALVES, 2016). Ao mesmo tempo, a alta demanda do consumo de recursos naturais pode tornar a areia um material escasso no mundo, pois segundo o relatório do Programa da Organização das Nações Unidas (ONU) para o Meio Ambiente (PNUMA, 2019) são extraídas 50 bilhões de toneladas de areia por ano, chegando a ser o segundo recurso mais consumido do mundo.

Ainda, o Pacto Ecológico Europeu (COM, 2019) encoraja a busca de novas tecnologias para a prevenção da poluição no descarte de resíduos sólidos da construção civil. Adicionalmente, segundo os estudos de Ma *et al.* (2019), cada saco de cimento de chegam a emitir até 22 g CO₂ em seu ciclo de vida.



Estudos recentes, como Soares *et al.* (2024), avaliaram ou propuseram tecnologias validadas para a reutilização de sacos de cimento na produção de materiais cimentícios como as placas cimentícias, especificamente nos locais de geração dos resíduos. Essas abordagens normalmente substituem uma parte (%) dos recursos naturais por sacos de cimento reutilizados (SCR). As proporções utilizadas são geralmente baixas, indicando que os sacos contaminados com cimento Portland ainda não são considerados resíduos sólidos de alto valor para reutilização (Tabela 1).

Tabela 1. Estudos envolvendo o reuso de SCR em materiais cimentícios

SCR (%)	Materiais	Fonte	Autores
20	Vergas	The Journal of Solid Waste Technology and Management	Soares <i>et al.</i> (2020)
8	Compósito	Construction and Building Materials	Khorami <i>et al.</i> (2013)
7.5	Placas cimentícias	Materials Science and Engineering	Lukmanova <i>et al.</i> (2019)
1.5	Fibras para placas	Advances in Functional Materials	Khorami <i>et al.</i> (2016)
1	Concreto	Construction and Building Materials	Thorneycraft <i>et al.</i> (2018)
0.67	Concreto	Construction and Building Materials	Yin <i>et al.</i> (2016)
0.5	Concreto	Advances in Materials Research (South Korea)	Marthong (2019)
0.5	Argamassa	Brazilian Journal of Development	Morais <i>et al.</i> (2022)
0.3	Concreto	Advances in Materials Research	Touahri <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, a celulose presente no papel apresenta baixa condutividade térmica, característica que contribui para seu bom desempenho como material isolante (*Smith et al.*, 2020), sendo esta também mais uma razão para estudos do reaproveitamento dos sãos de cimento em placas cimentícias. A ideia que originou a pesquisa foi verificar a reutilização da fibra de papel na composição da mistura e verificar o atendimento de densidade aparente e tração na flexão para as categorias A, B e C estabelecida na NBR 15.498:2021 - Chapas cimentícias reforçadas com fios, fibras, filamentos ou telas — Requisitos e métodos de ensaio.



2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Produção das fibras a partir dos sacos de cimento

As embalagens dos sacos de cimento Portland foram trituradas durante aproximadamente 2 minutos, usando um processador Mondial Full Kitchen, com potência de 500W, frequência de 60Hz e capacidade de 2 litros. O material triturado foi disperso em bandejas de metal com capacidade de 10 litros e colocado para secar à temperatura entre 24 e 26°C, durante um período de 24 horas. Após a secagem, o material obtido foi denominado de “fibras”.

A dosagem do concreto com o teor destas fibras é a mesma proposta por Soares *et al.*, 2021, que alcançou uma resistência à compressão acima de 16MPa e aos 28 dias de cura, sendo na proporção de 1:3:3:0,5 (cimento CPII-Z 32, areia lavada média com módulo de finura de 2,85, pedrisco britado e fator água/cimento 0,55). Esta mesma dosagem é utilizada para comparação, sendo a massa da areia substituída em 5% pelas fibras das embalagens. Para os tipos de concreto, os ensaios com corpos de prova foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Para verificação e ajustamento das dosagens, foram utilizadas como referência as normas técnicas: ABNT NBR 11578:1991 – Cimento Portland Composto – Especificações; ABNT NBR NM 248:2012 – Agregados – Determinação da composição granulométrica e ABNT NBR 12566:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.

2.2 Elaboração dos modelos e preparo das placas cimentícias

Para o processo de moldagem, foram adquiridas fôrmas plásticas da marca Fortiplas, com dimensões de 45cmX45cmX2cm, as quais foram umedecidas com óleo lubrificante, sendo posteriormente as peças validadas quanto ao dimensionamento geométrico. Para melhor resistência das placas, neste trabalho, optou-se pelo uso de telas plásticas entrelaçadas, considerando também os critérios de baixo custo e resistência à oxidação. Assim, foram utilizadas telas hexagonais de 1,25cm e $\frac{1}{2}$ ", sendo da marca Paperplast (peso por área: 80–150 g/m²; densidade do polímero: 0,90–0,96 g/cm³; resistência à tração do filamento: 20–35 MPa; alongamento na



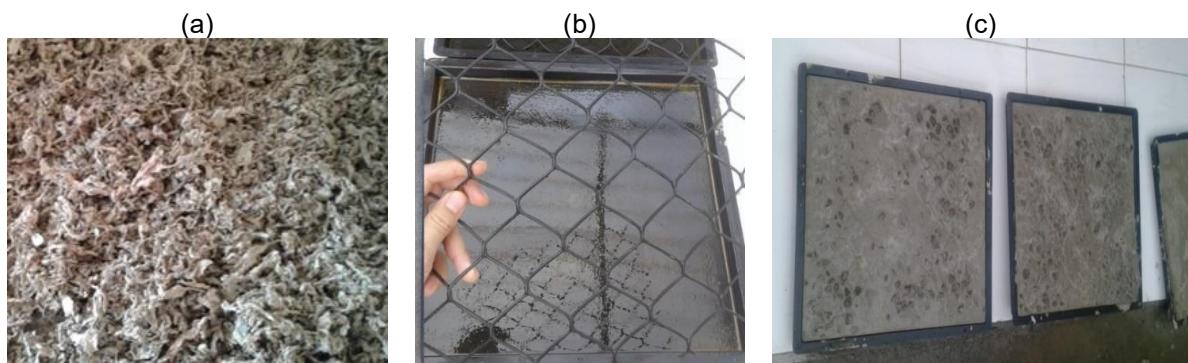
ruptura: 15–30%; módulo de elasticidade: 1,0–1,5 GPa; temperatura máxima de trabalho: 80–100 °C).

De posse dos concretos validados (sem fibras e com 5% de fibras), disponibilidade de fôrmas e telas, iniciou-se o processo de produção e moldagem que consistiu na limpeza da forma, passagem de desmoldante para formas plásticas, confecção dos concretos de acordo com as dosagens estabelecidas. O processo de preenchimento da forma com concreto foi executado sob mesa vibratória, tendo-se o cuidado de evitar segregação, evitando-se a formação de falhas de moldagem que podem afetar as propriedades avaliadas. Logo após todo o preenchimento foi feito o arrasamento da forma com régua metálica padronizada e plana, evitando ondulações superficiais e defeitos estéticos.

Concluído o processo de moldagem das placas, elas permaneceram em superfície rígida com o mínimo de movimentação possível, por um período de 3 dias. A cura das placas foi feita com exposição ao ar à temperatura ambiente para após 28 dias serem respectivamente avaliadas.

O processo ficou resumido em: preparar a fibras com formas, produzindo a placa cimentícia até o processo de cura (Figura 1).

Figura 1. (a) Sacos triturados (fibras); (b) Forma lubrificada e telas; (c) Corpos de prova prontos



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 Ensaios com as placas cimentícias

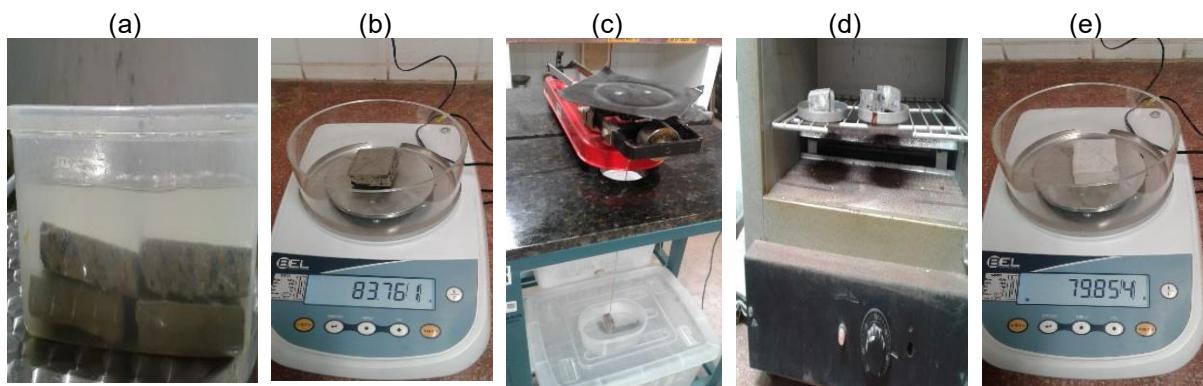
Após cura, foram cortados quatro corpos de prova (identificados em I, II, III e IV) para cada tipo de concreto (com e sem fibra) e para cada dois tipos de ensaio: amostras no formato retangular com dimensões de 4cmx5cm (espessura de 2cm) para os ensaios de densidade aparente e amostras quadradas com lado de 23cm para os ensaios de resistência de tração na flexão. Destarte, os ensaios foram realizados

conforme a ABNT NBR 15.498:2021 - Chapas cimentícias reforçadas com fios, fibras, filamentos ou telas — Requisitos e métodos de ensaio.

2.3.1 Densidade aparente

As amostras de 4x5cm ficaram imersas pelo período de 24 horas e em seguida foram verificadas as massas úmidas (m_u) em uma balança BEL com precisão de 0,001g, as mesmas amostras foram verificadas as massas imersas (m_i) em uma balança Peso com precisão de 1g. As amostras imersas, pesadas úmidas e pesadas imersas. Destarte, as amostras foram levadas a uma estufa *De leo* e ficaram submetidas a uma temperatura de 110°C durante um período de 24 horas e em seguida foram verificadas as massas finais (m_f) (Figura 2).

Figura 2. (a) Corpos de prova saturados; (b) Verificação da massa úmida (m_u); (c) Verificação da massa imersa (m_i); (d) Secagem e (e) Verificação da massa final (m_f)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os dados obtidos e de acordo com a ABNT NBR 15.498:2021, a densidade aparente foi calculada de acordo com a Equação 1:

$$\rho = m_s/V \quad (1)$$

Onde:

ρ é a densidade aparente;

m_s é a massa do corpo de prova após secagem.

V é a diferença entre m_u (massa úmida) e m_i (massa imersa).

2.3.2 Referencial comparativo para avaliação da densidade

A ABNT NBR 15.498:2021 não estabelece resultados de referência para a densidade aparente, porém, a norma requer que os fabricantes indiquem a densidade aparente das placas. Assim, foram consultadas as densidades aparentes no catálogo de três fabricantes aleatórios para comparação inicial (Tabela 2).

Tabela 2. Referencial comparativo para a densidade aparente

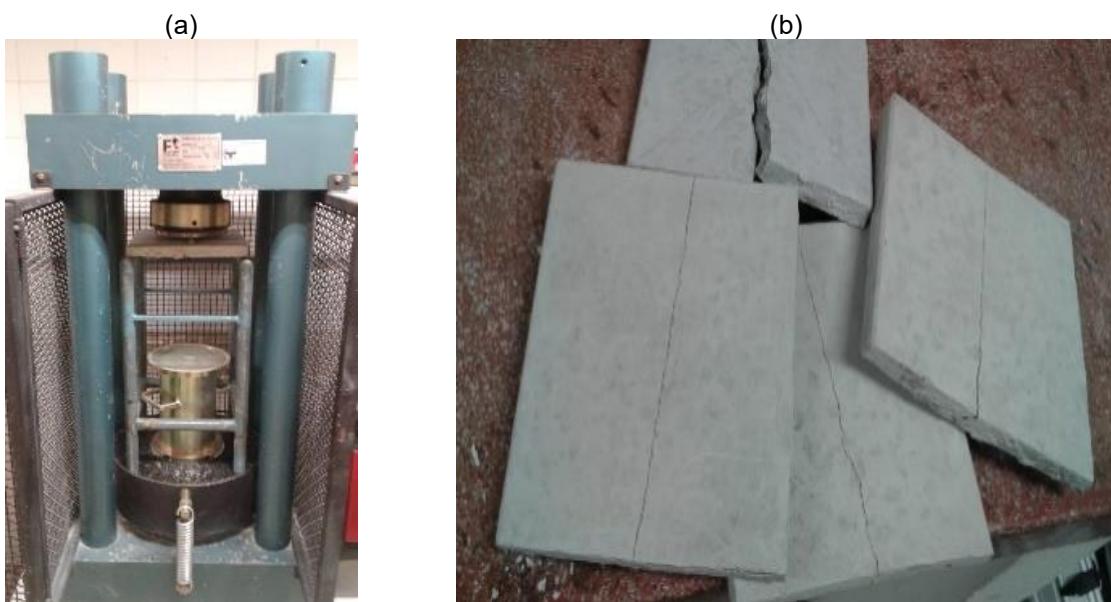
Referência	Material utilizado como fibra	Densidade aparente considerada (g/cm ³)
Fabricante 1	Fibra celulósica	1,20
Fabricante 2	Celulose reforçada com fibra sintética	1,60
Fabricante 3	Fio sintético	1,85

Fonte: Adaptado de Decolit (2021), Infibra (2021) e Eternit (2021).

2.3.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

Para cada uma das quatro amostras de cada tipo de mistura (com e sem fibras), foram verificados seis resultados de espessura (e) e em seguida foram calculadas as suas médias aritméticas. As amostras quadradas, com lados de 23cm, foram submetidas aos ensaios de resistência à tração na flexão em uma prensa elétrica *Fortest* com capacidade de 200 toneladas, sendo 21cm a distância entre os eixos (Figura 3).

Figura 3. (a) Ensaio de resistência à tração na flexão e (b) Amostras rompidas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Destarte, foram calculadas as resistências à tração na flexão de acordo com a ABNT NBR 15.498:2021, utilizando a Equação 2:

$$R_f = \frac{3P_{\max} \times L}{2b \times e^2} \quad (2)$$

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

P_{\max} é a carga de ruptura por flexão, expressa em newtons (N);

L é a distância entre eixos dos suportes, expressa em milímetros (mm);

b é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

e é a espessura média do corpo de prova (média aritmética das medidas), expressa em milímetros (mm).

2.3.4 Referencial comparativo para o ensaio de resistência a tração na flexão

As placas são classificadas nas classes A, B e C para quatro categorias, segundo a ABNT NBR 15.498:2021. As chapas cimentícias são classificadas em três categorias: A, para uso externo diretamente exposto ao sol, chuva, congelamento ou neve; B, para uso externo sem exposição direta às intempéries, suportando umidade, calor e congelamento ocasional; e C, destinada a aplicações internas, sujeitas apenas a calor e umidade, mas não ao congelamento. A Tabela 3 apresenta a configuração da resistência à tração na flexão para cada uma das categorias para comparação.

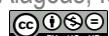
Tabela 3. Requisitos de resistência à tração na flexão Resistência em megapascals (MPa)

Categoria	Placas da Classe A e B	Placas da Classe C
1	4	4
2	7	7
3	13	10
4	18	16
5	24	22

Fonte: ABNT (2021).

3 RESULTADOS

3.1 Avaliação da densidade aparente



Após as verificações em laboratório, foram calculadas as densidades aparentes de todas as amostras e o respectivo desvio padrão, assim como as densidades aparentes médias (Tabela 4).

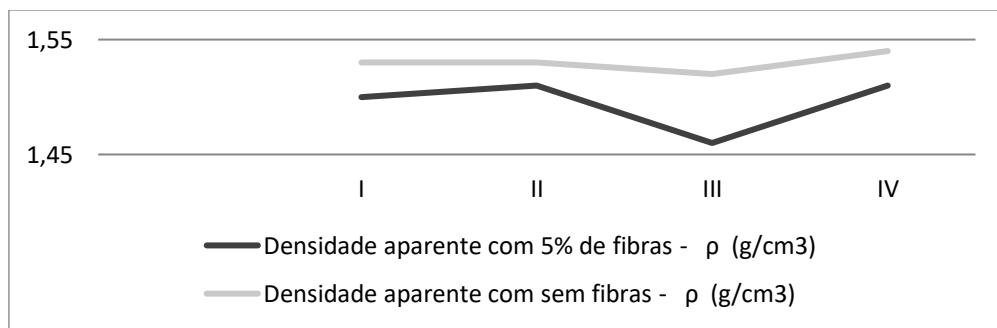
Tabela 4. Dados e resultados sobre a densidade aparente

Tipos de placas	Amostras	Massa úmida - m_u (g)	Massa imersa - m_i (g)	Massa final - m_f (g)	Densidade aparente - ρ (g/cm ³)	Desvio padrão	Densidade aparente média (g/cm ³)
Com 5% de fibras	I	85,75	32,5	79,85	1,50		
	II	91,5	34,7	86,05	1,51	0,02	1,50
	II	95,2	34,25	89,20	1,46		
	IV	83,76	31,85	78,41	1,51		
Sem fibras	I	91,77	34,87	87,18	1,53		
	II	94,88	36,38	90,14	1,54	0,01	1,53
	II	88,56	33,07	84,13	1,52		
	IV	97,32	36,98	92,45	1,53		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi observado que as densidades aparentes de todas as amostras com fibras foram menores em relação às amostras sem fibras, onde os desvios padrões ficaram próximos e a densidade média uma diferença de aproximadamente 2%, sendo esta a redução média da densidade das placas com fibras. Verificou-se que os 5% do teor de fibras influenciou na densidade aparente (Figura 4).

Figura 4. Análise dos resultados das densidades aparentes entre as placas com e sem fibras

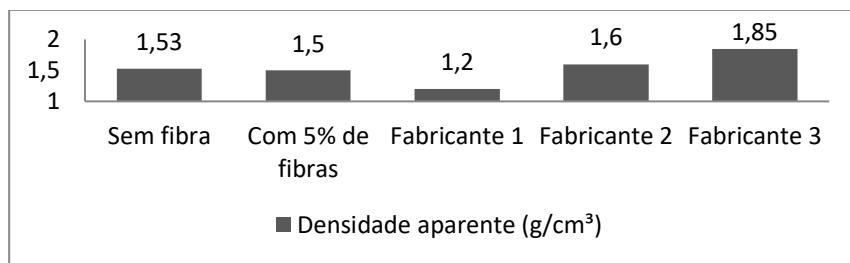


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Avaliação da densidade entre os referenciais comparativos

As médias aritméticas das densidades aparentes das placas com e sem fibras foram comparadas com as densidades aparentes dos fabricantes apresentados na Tabela 2 (Figura 5).

Figura 5. Densidades das amostras em comparação com os resultados de fabricantes



Fonte: Autores (2025).

Os resultados obtidos foram considerados típicos quando comparados aos de fabricantes, com leve avanço para as placas com fibras. Essa melhoria pode ser atribuída ao fato de que um material pode apresentar desempenho superior ao combinar boa trabalhabilidade com menores esforços decorrentes do peso próprio, devido à sua menor densidade aparente.

3.3 Avaliação da resistência à tração na flexão

Após as verificações em laboratório, foram calculadas as resistências à tração na flexão de todas as amostras e o respectivo desvio padrão, sendo comparadas a resistência mínima no estádio de equilíbrio (classe B) requerido pela ABNT NBR 15.498:2021 (Tabela 5).

Tabela 5. Dados sobre a resistência de tração na flexão

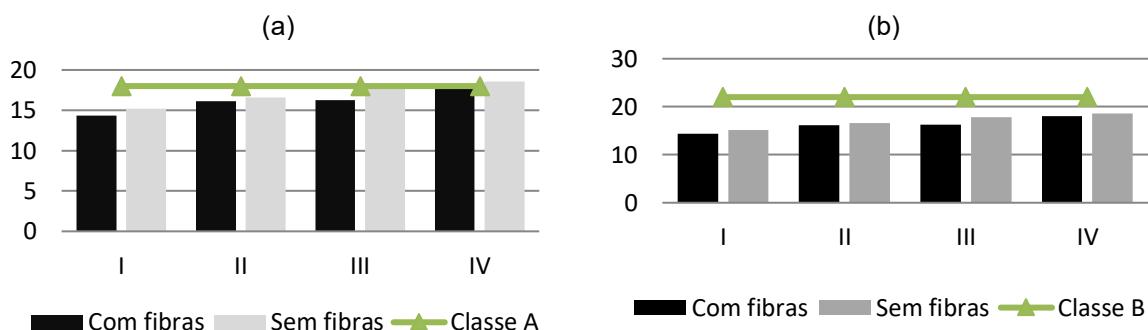
Tipos de placas	Amostras	Espessura média – e (mm)	Comprimento do lado – L (mm)	Distância entre os eixos – L (mm)	Carga de rupura -P _{máx} (N)	Resistência à tração na flexão – R _f (MPa)	Desvio padrão	Resistência mínima NBR15498 (MPa)
Com 5% de fibras	I	19,8	230	210	4100	14,32	1,50	4
	II	20,21	230	210	4800	16,10		
	III	20,33	230	210	4900	16,24		
	IV	20,65	230	210	5600	17,99		
	I	18,99	230	210	4000	15,19	1,48	4
	II	20,71	230	210	5200	16,60		

Sem fibras	III	19,78	230	210	5100	17,85		
	IV	21,05	230	210	6000	18,55		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados foram comparados com as categorias e as classes A, B e C, conforme Tabela 3. Os tipos estudados atenderam as condições mínimas estabelecidas pela norma, quanto a resistência de tração na flexão. Apenas para a categoria 4 e 5 na Classe A e B, assim como na categoria 5 na Classe C, os resultados de referência não foram alcançados – estes ficando ligeiramente abaixo das respectivas referências (Figura 6).

Figura 6. (a) Categoria 4 - Classe A e B (18MPa) e (b) Categoria 5 - Classe C (22MPa)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em pesquisas futuras, ajustes nas misturas podem ser realizados para que as placas atendam plenamente às categorias de desempenho nos critérios de resistência à tração na flexão – mas pode-se considerar esta validação parcial com aplicabilidade, e com uma proporção de sacos de cimento reutilizado (SCR) considerável ao ser comparada com as proporções da literatura que foram apresentadas na Tabela 1.

Também, recomenda-se testar maiores proporções de fibras, de modo a ampliar o volume de sacos de cimento contaminados reaproveitados e reduzir o consumo de areia, visto que é um recurso natural esgotável (PNUMA, 2019). Além disso, essa estratégia pode contribuir para melhorar o conforto térmico das placas, conforme estudo indicado por Smith *et al.* (2020) sobre a condutividade térmica da celulose do papel. Tais efeitos poderão ser confirmados nos demais ensaios previstos na ABNT NBR 15.498:2021.

Assim, espera-se avançar em uma rota de baixo carbono para destinação dos sacos de cimento, atendendo necessidades globais (COM, 2019), promovendo economia circular e resultando assim em placas cimentícias mais eficientes e sustentáveis.

4 CONCLUSÃO

Os modelos de placas cimentícias produzidos com o reaproveitamento de embalagens de cimento Portland mostraram-se tecnicamente viáveis, indicando potencial para a continuidade e o aperfeiçoamento desta linha de pesquisa. A densidade aparente destacou-se como uma propriedade essencial do produto final, pois influencia diretamente sua massa e, consequentemente, suas possíveis aplicações. Já os resultados de resistência à tração na flexão apresentaram coerência com a maior parte das categorias estabelecidas pela ABNT NBR 15.498:2021. Assim, torna-se relevante a continuidade e o aprofundamento deste estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), da Universidade Federal da Bahia (UFBA), bem como do Instituto Superior Técnico (Portugal), por suas contribuições a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. S. Estudo da interferência da adição de fibras kraft em argamassas. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 7, p. 26259–26272, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. ABCIC é notícia. Ed. n. 06. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.abcic.org.br/Arquivos/Newsletter/news06.html>>. Acesso em: 10 out. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto – Especificações. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12566**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15498**: Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova para ensaio de resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Banco de Dados**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br>>. Acesso em: 25 set. 2025.

COM. UNFCCC. The Paris Agreement. 2019. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>. Acesso em: 29 jul. 2025.

DECORLIT. Manual Técnico – Placas Cimentícias Decorlit. Versão 05/2018. Disponível em: <<https://www.ternit.com.br/catalogos/>>. Acesso em: 18 jan. 2025.

ETERNIT. Catálogo Técnico – Sistemas Construtivos. Rev. 02/2020. Disponível em: <<https://www.ternit.com.br/catalogos/>>. Acesso em: 18 jan. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **The European Green Deal**. Brussels, 2019. Disponível em: <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en>. Acesso em: 29 jul. 2025.

INFIBRA. Placas cimentícias NTF. Revisão 1 – 2018. Disponível em: <<https://infibra.com.br/produto/placa-cimenticia-ntf-infibra/>>. Acesso em: 18 jan. 2025.

KHORAMI, M.; GANJIAN, E. The effect of limestone powder, silica fume and fibre content on flexural behaviour of cement composite reinforced by waste kraft pulp. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 142–149, 2013.

KHORAMI, M.; GANJIAN, E.; SRIVASTAV, A. Feasibility study on production of fiber cement board using waste kraft pulp in corporation with polypropylene and acrylic fibers. **Materials Today: Proceedings**, v. 3, n. 2, p. 376–380, 2016.

LUKMANOVA, L. V.; MUKHAMETRAKHIMOV, R. K.; GILMANSHIN, I. R. Investigation of mechanical properties of fiber-cement board reinforced with cellulosic fibers. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 570, p. 012113, 2019.

MA, X.; LI, C.; LI, B. Carbon emissions of China's cement packaging: Life cycle assessment. **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 5554, 2019.

MARTHONG, C. Effect of waste cement bag fibers on the mechanical strength of concrete. **Advances in Materials Research**, v. 8, n. 2, p. 103–115, 2019.

MORAIS, C. D. N. et al. Reforço de argamassas com fibras de papel kraft reaproveitadas de embalagens de cimento. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 21566–21582, 2022.

PNUMA. UN warns that between 40 and 50 billion tons of sand are extracted per year. ONU News, 2022. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/05/1671251>>.

SMITH, J.; JOHNSON, R.; LEE, M. **Thermal properties of cellulose-based materials**. London: Green Materials Press, 2020.



SOARES, R. C. et al. Low carbon in the reuse of Portland cement bags: a ten-year review. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 23, n. 4, p. 891–901, 2024.

SOARES, R. C. et al. Portland cement packaging reuse in the production of pre-cast beams for non-structural masonry. **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, v. 46, n. 4, p. 563–571, 2020.

THORNEYCROFT, J. et al. Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 63–69, 2018.

TOUAHRI, A. et al. Effect of recycled polypropylene fiber on high strength concrete and normal strength concrete properties. **Advances in Materials Research**, v. 10, n. 4, p. 267–281, 2021.

Recebido em: 08/12/2022
Aceito em: 11/11/2025

