



JEFFERSON FRANCISCO FAGUNDES

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PISOS CERÂMICOS COMO
MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE FIBROCIMENTOS
EXTRUDADOS**

LAVRAS – MG

2022

JEFFERSON FRANCISCO FAGUNDES

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PISOS CERÂMICOS COMO MATÉRIA-PRIMA
PARA PRODUÇÃO DE FIBROCIMENTOS EXTRUDADOS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal de Lavras, como parte das
exigências do curso de Engenharia Civil,
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

Prof. Dr. Tony Matheus Carvalho Eugênio

Coorientador

LAVRAS – MG

2022

JEFFERSON FRANCISCO FAGUNDES

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PISOS CERÂMICOS COMO MATÉRIA-PRIMA
PARA PRODUÇÃO DE FIBROCIMENTOS EXTRUDADOS**

**USE OF CERAMIC FLOOR WASTE AS RAW MATERIAL FOR PRODUCTION OF
EXTRUDED FIBROCEMENT**

Monografia apresentada à Universidade
Federal de Lavras, como parte das
exigências do curso de Engenharia Civil,
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 14 de setembro de 2022.

Ph.D. Tony Matheus Carvalho Eugênio – IF Sudeste MG

M.Sc. Carolina Rezende Pinto Narciso – UFLA

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

Prof. Dr. Tony Matheus Carvalho Eugênio

Coorientador

LAVRAS – MG

2022

Aos meus pais, Neide e Valdeci, minha avó Maria e ao meu grande amor Roberta, que durante esses longos anos sempre me apoiaram com muito amor e paciência.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela oportunidade concedida e por ter me sustentado durante todo este período.

Aos meus queridos pais Valdeci e Neide, e à minha querida avó Maria, minha eterna gratidão, pelo apoio, paciência, carinho, amor, pela minha vida.

À minha noiva Roberta pelo carinho, amor, confiança, compreensão e lealdade em mais esta etapa de minha vida.

À minha tia Cleide e minha sogra Sônia, por todo carinho e acolhimento que sempre dispuseram a mim. Aos demais familiares pelo carinho e incentivo.

Ao professor Rafael Farinassi Mendes, pela orientação, compreensão, paciência, suporte, pela disposição e amizade ao longo de todos estes anos.

Ao Tony, pelos ensinamentos, orientação e amizade.

À todos os amigos do Núcleo de Estudo e Inovações em Materiais Compósitos (NEIMAC). Em especial à Carol, à Queila, à Bruna, ao Lucas e ao Arimateia.

À Universidade Federal de Lavras, pela graduação, pela moradia, pela infraestrutura, ao Departamento de Engenharia, pelas oportunidades e vivências.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)

Aos amigos que pude fazer durante toda essa jornada.

Muito obrigado!

RESUMO

O descarte de resíduos oriundos da construção civil é um dos maiores desafios atuais, sendo consequência do processo acelerado de urbanização e da industrialização. A utilização de resíduos originados em indústrias ou canteiros de obra como matéria-prima em compósitos cimentícios, além de agregar valor à esses resíduos, vem resultando em ações eficazes e sustentáveis, visto que, reduzindo a extração das fontes de matérias primas naturais consequentemente há uma diminuição da degradação do meio ambiente gerada pelo processo de extração e uma redução do volume a ser descartado. Nesse contexto, esse trabalho objetivou avaliar o efeito da utilização de resíduos de pisos cerâmicos em substituição ao calcário agrícola moído sobre as propriedades físicas e mecânicas de fibrocimentos produzidos por extrusão. Para este estudo as substituições foram realizadas nos percentuais de 25%, 50%, 75% e 100%, além de um tratamento controle sem a utilização do resíduo. Os pisos foram triturados em um britador e depois peneirados em uma peneira de malha equivalente a 100 mesh. Os corpos de prova foram avaliados aos 28 dias de cura e após o envelhecimento acelerado, conforme suas propriedades físicas de densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente, e propriedades mecânicas de Módulo de ruptura (MOR), Módulo de elasticidade (MOE), e Tenacidade. O efeito da quantidade de resíduo utilizado sugere o uso de até 75% da substituição do calcário agrícola moído, para efeitos de otimização das propriedades físicas e mecânicas do fibrocimento, atendendo aos padrões de comercialização. O uso de até 75% de substituição do calcário pelo resíduo de piso cerâmico tem efeitos de otimização nas propriedades físicas e mecânicas e na durabilidade do material, tomando um destino correto e sustentável e possibilitando a descoberta de novos materiais para o setor da construção civil.

Palavras – chaves: compósitos cimentícios; resíduo de construção; sustentabilidade; resíduos cerâmicos; propriedades físicas e mecânicas

ABSTRACT

The disposal of waste from civil construction is one of the biggest challenges today, as a consequence of the accelerated process of urbanization and industrialization. The use of waste from industries or construction sites as raw material in cement composites, in addition to adding value to these wastes, has resulted in effective and sustainable actions, since, by reducing the extraction of natural raw material sources, consequently there is a decrease in environmental degradation generated by the extraction process and a reduction in the volume to be discarded. In this context, this study aimed to evaluate the effect of using waste ceramic flooring to replace ground agricultural limestone on the physical and mechanical properties of fiber cement produced by extrusion. For this study, the replacements were performed in the percentages of 25%, 50%, 75% and 100%, in addition to a control treatment without using the residue. The floors were crushed in a crusher and then sieved in a sieve with a mesh equivalent to 100 mesh. The specimens were evaluated after 28 days of curing and after accelerated aging, according to their physical properties of apparent density, water absorption and apparent porosity, and mechanical properties of Modulus of rupture (MOR), Modulus of elasticity (MOE), and Tenacity. The effect of the amount of waste used suggests the use of up to 75% of the replacement of ground agricultural limestone, for the purpose of optimizing the physical and mechanical properties of fiber cement, meeting commercialization standards. The use of up to 75% of limestone replacement by ceramic flooring residue has optimization effects on the physical and mechanical properties and on the durability of the material, taking a correct and sustainable destination and enabling the discovery of new materials for the civil construction sector.

Key words: cementitious composites; construction waste; sustainability; ceramic waste; physical and mechanical properties

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	09
INTRODUÇÃO GERAL	09
1 INTRODUÇÃO	09
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Compósitos cimentícios	10
2.2 Fibrocimento	11
2.3 Resíduos cerâmicos	12
2.4 Resíduos cerâmicos em compósitos	13
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
SEGUNDA PARTE	22
ARTIGO	22
1 RESUMO	23
2 INTRODUÇÃO	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5 CONCLUSÃO	43
AGRADECIMENTOS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	43

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, além de um grande gerador de resíduos sólidos, é um potencial consumidor de recursos naturais não renováveis. Diante deste contexto, tem-se aumentado cada vez mais estudos em busca de desenvolvimento de novos produtos e inovações tecnológicas, com o objetivo de vencer o grande desafio que tem a construção civil de acompanhar e promover o processo acelerado de urbanização de maneira sustentável.

O fibrocimento é um material muito utilizado na construção civil. Sua popularidade é devido ao grande uso na fabricação de telhas de cobertura, porém, atualmente fabricados também na forma de placas e utilizados como elementos de vedação de paredes e em fachadas, uma vez que o material apresenta uma ótima resistência e durabilidade a ambientes externos, sendo facilmente encontradas no mercado em diversos tamanhos (ANF, 2022). Comercializados também no formato placas onduladas, painéis cimentícios, elementos vazados, elementos decorativos, tubos e conexões utilizados nas infraestruturas das obras.

Os produtos de fibrocimento contemplam em sua composição proporções variadas de Cimento Portland, agregados minerais moídos, sendo o calcário o agregado mais utilizado para a produção de fibrocimento, fibra de celulose e muitas vezes fios sintéticos de reforço. Sua fabricação segue formulações específicas e definições de cada produtor, onde podem ser curados ao ar livre ou em uma autoclave que possibilita controlar as condições de pressão e umidade (ANF, 2022).

Visando diminuir o impacto ambiental da produção de fibrocimento, busca-se cada vez mais a reutilização de materiais alternativos que possam substituir os materiais convencionais, os quais são obtidos através do processo de extração da natureza. Além do esgotamento dos recursos não renováveis, seu processo de extração gera um impacto negativo para o meio ambiente. Dentro desse contexto, existe a possibilidade de realizar a substituição desses agregados naturais por resíduos da construção civil, que podem

apresentar propriedades tecnológicas finais dos materiais produzidos, semelhantes aos agregados naturais.

Os resíduos da construção civil podem ser resultados de atividades de construção, reformas, reparos e demolição de obras de construção civil. São exemplos de resíduos gerados pela construção civil: pisos e revestimentos cerâmicos, tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, azulejos, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros.

Um resíduo de grande importância no cenário nacional é o de pisos e revestimentos cerâmicos. O motivo se dá pelo fato de o país se encontrar entre os três maiores produtores, e os dois maiores consumidores de cerâmica para revestimentos, louças sanitárias e congêneres do mundo (ANFACER, 2022).

Tanto a produção, quanto o consumo, geram um elevado volume de resíduo, que, em sua maior parte, atualmente é descartada em aterros sanitários juntos aos demais entulhos da construção civil. Além de se tratar de um material que apresenta uma grande durabilidade e resistência que está sendo descartado, perdendo o seu valor econômico, se tornou um problema para o setor da construção civil que vem sendo pressionado a adotar uma solução ambientalmente correta para o descarte desses resíduos (RAY et al., 2021; SENTHAMARAI; DEVADAS MANOHARAN, 2005).

Desta forma esse trabalho objetivou avaliar o efeito da utilização de resíduos de pisos cerâmicos em substituição ao calcário agrícola moído sobre as propriedades físicas e mecânicas de fibrocimentos produzidos por extrusão. O estudo visa além de melhorar ou manter as propriedades avaliadas do fibrocimento, contribuir e incentivar a descoberta de novos materiais para o setor da construção civil, tornando-o cada vez mais sustentável, descobrindo uma solução eficiente de descarte, de forma que agregue valor econômico e ambiental aos resíduos cerâmicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Compósitos cimentícios

Compósito é o nome dado a junção de dois ou mais materiais cujo o objetivo é atingir propriedades superiores aos materiais primários utilizados nessa união (CAMARGO et al., 2020; PACHECO-TORGAL; JALALI, 2011). Sendo constituído por uma matriz e por uma carga a qual pode receber a função de enchimento, onde sua finalidade é promover a melhoria de propriedades como condutividade térmica, isolamento acústico, isolamento térmico, dentre outros; podendo também ser utilizada como reforço, cujo o seu objetivo principal é melhorar as propriedades mecânicas do material (CAMARGO et al., 2020; DE LIMA et al., 2022; TEIXEIRA et al., 2020a).

Embora os compósitos à base de cimento sejam os materiais mais utilizados em infraestrutura na construção civil no mundo inteiro, popularidade devida a excelente resistência à compressão, seu baixo custo de fabricação e fácil modelagem (LIN; DU, 2020); em contra partida, os compósitos de matriz cimentícia apresentam algumas desvantagens como sua baixa resistência a tração, fragilidade e baixa durabilidade a ambientes agressivos (HAN; ZHANG; OU, 2017; JIANG et al., 2021; LIN; DU, 2020).

Materiais compostos por matriz cimentícia são tipicamente caracterizados como frágeis e de baixa resistência ao impacto, o que os levam a fraturas sem deformação com tendência à fissuração (FONSECA et al., 2016a), sendo necessário a adição de outros materiais, como fibras ou partículas, com a intenção de reforçar sua microestrutura, proporcionando um aumento em sua resistência à tração, à flexão e ao impacto, além de controlar a fissuração, alterando o modo de falha, permitindo-lhe a falha de maneira dúctil, após atingir o estágio de fissuração (COUTTS, 2005; FILHO et al., 2012; HOSSEINPOURPIA et al., 2012; MENDES et al., 2021a).

2.2 Fibrocimento

A Associação Nacional do Fibrocimento – ANF (2022) define os fibrocimentos como materiais presentes na indústria da construção civil produzidos à base de cimento reforçados com fibras e fios sintéticos, também conhecidos como CRFS - Cimento Reforçado com Fios Sintéticos.

A qualidade mais importante que os reforços de fibras trazem para o compósito é em seu comportamento pós-fissuração, as fibras interagem entre as fissuras da matriz, fazendo uma ponte por onde é feita a transferência de cargas (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015). Além de fornecer rigidez, resistência e

capacidade de ligação apropriadas à matriz, aumenta substancialmente sua resistência à flexão, tenacidade, resistência ao impacto; as fibras também podem diminuir a densidade dos compósitos, diminuir a condutividade térmica (para fibras vegetais), aumentar a absorção do som e o amortecimento específico melhorando suas propriedades acústicas (BENTCHIKOU et al., 2012; MORTON; COOKE; AKERS, 2010; SAVASTANO; WARDEN; COUTTS, 2003; TOLÊDO ROMILDO D. et al., 2003).

As fibras lignocelulósicas apresentam vantagens em relação a outros tipos de fibras utilizadas na produção de fibrocimento, como: baixo custo, não é tóxica e são extraídas de fontes renováveis, ou seja, desde que seu consumo seja controlado, é um material que é extraído de fonte renovável (FONSECA et al., 2019). Graças aos estudos e pesquisas realizadas, tem sido possível a produção em escala comercial de fibrocimentos fabricados com fibras de celulose, resultados dos avanços tecnológicos no tratamento da matéria-prima e na melhoria dos processos produtivos que demandam um menor consumo energético, o qual contribui para uma economia de custos de produção (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015; COUTTS, 2005; MÁRMOL; SAVASTANO, 2017; WEI; MEYER, 2015)

Utilizados assiduamente na construção civil, os fibrocimentos com fibras de celulose são aplicados na fabricação de materiais com fins não estruturais como, painéis de vedação, chapas onduladas ou planas, telhas, peças pré-fabricadas como elementos para telhados (LERTWATTANARUK; SUNTIJITTO, 2015; MENDES et al., 2021a; TEIXEIRA et al., 2020a). Os fibrocimentos são fabricados seguindo formulações distintas, particulares, de cada produtor. Possui em sua composição variadas proporções de Cimento Portland, agregados minerais onde o mais utilizado é o calcário agrícola moído, fibras de celulose e sintéticas (“O Fibrocimento – ANF”, 2022).

2.3 Resíduos cerâmicos

Segundo Lumar et al., (2021), a produção mundial de revestimentos cerâmicos é superior a 10 milhões de metros quadrados por ano. Sendo considerada dessa produção cerca de 30% como resíduo não aproveitados (AKHMETOV et al., 2022; RASHID et al., 2017). O pó cerâmico é o principal resíduo gerado em grande volume pela indústria cerâmica nas fases de acabamento e polimento de peças (LUHAR et al., 2021).

Uma vez que os resíduos cerâmicos não são biodegradáveis, seu descarte necessita da disposição de terrenos com grandes áreas, portanto, encontrar uma maneira inovadora de reciclar esses resíduos utilizando-os para o desenvolvimento de novos materiais de construção, pode ser uma alternativa útil e atrativa para conservar os recursos naturais não renováveis junto ao meio ambiente (JAIN; GUPTA; CHAUDHARY, 2022a, 2022b; SUCHITHRA; SOWMIYA; PAVITHRAN, 2022b).

No entanto, até o presente momento, a utilização do resíduo cerâmico com o intuito de desenvolver novos materiais de construção de matriz cimentícia, vem sendo explorada apenas como substituição de agregados para concreto, pouco se sabe da utilização desses resíduos em substituição ao cimento e ao calcário (MEENA et al., 2022).

2.4 Resíduos cerâmicos em compósitos cimentícios

Estudos anteriores revelaram que os resíduos cerâmicos apresentam propriedades pozolânicas, podendo ser utilizados na produção de concreto com maior durabilidade e resistência (LUHAR et al., 2021; MEENA et al., 2022; SAMADI et al., 2015).

Em um estudo realizado por Kannan et al., (2017), foi avaliado o slump, resistência à compressão, fases cristalinas, teste de Frattini, porosidade, permeabilidade ao íon cloreto e resistividade elétrica para o concreto de alto desempenho, com substituição do cimento nas concentrações de 0, 10, 20, 30 e 40%, pelo resíduo de pó cerâmico. A adição de pó de resíduo cerâmico reduziu a resistência à compressão do concreto de alto desempenho. No entanto, a durabilidade foi aumentada.

Elçi (2016), utilizando resíduo de azulejo e piso cerâmico na substituição de 100% de agregados graúdos e miúdos, avaliando as propriedades do concreto quanto a resistência à compressão, flexão, densidade, absorção de água, condutividade térmica, e porosidade, constatou propriedades mecânicas idênticas ao concreto convencional. O mesmo resultado foi observado por López et al., (2007), substituindo agregados miúdos pelo pó de cerâmica branca nas proporções de 10, 20, 30, 40 e 50%.

Vilas Meena et al., (2022) afirmaram que o uso de resíduos de ladrilhos cerâmicos até 100% como partículas finas no concreto autoadensável resultou em uma melhora considerável na resistência ao fogo e à abrasão. Chen et al., (2017) avaliaram as propriedades do concreto incorporando o pó de resíduo cerâmico e cinzas volantes como

substitutos do cimento. Determinou-se que o concreto obteve um desempenho melhor quanto a resistência à compressão e resistência à carbonização em comparação com o concreto comum e de cinzas volantes.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que seja possível a redução dos impactos ambientais causados pela indústria da construção civil, é necessário proporcionar uma maneira de descarte adequada aos resíduos gerados por este setor. É possível minimizar a extração de recursos naturais utilizados na produção de materiais para construção, designando de maneira correta e reutilizando os resíduos gerados por todo setor da construção civil, através da substituição de componentes não renováveis por resíduos gerados pelo próprio setor.

Visto que existe a carência de estudos que utilizem do resíduo cerâmico em compósitos cimentícios que não sejam em concretos, o presente trabalho visa contribuir com o estudo de novas tecnologias na busca de novos materiais compósitos, tornando a construção civil um setor mais sustentável, avaliando a viabilidade da substituição do calcário agrícola moído por resíduo de piso cerâmico, na produção de fibrocimento pelo processo de extrusão, e visando melhorar suas propriedades físicas e mecânicas, além de agregar valor a tais resíduos os quais são gerados em grande volume dia após dia pelo mundo todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADOU, Y.; MITICHE-KETTAB, R.; GHRIEB, A. Ceramic waste influence on dune sand mortar performance. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 703–713, 30 out. 2016.

ABNT NBR 6120. Ações para o cálculo de estruturas de edificações. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 15, 2019.

AKHMETOV, D. et al. Effect of low-modulus polypropylene fiber on physical and mechanical properties of self-compacting concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, 1 jun. 2022.

AMIN, M.; TAYEH, B. A.; AGWA, I. S. Effect of using mineral admixtures and

ceramic wastes as coarse aggregates on properties of ultrahigh-performance concrete.

Journal of Cleaner Production, v. 273, p. 123073, 10 nov. 2020.

ANDERSON, D. J.; SMITH, S. T.; AU, F. T. K. Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 117, p. 20–28, 1 ago. 2016.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 115–128, 15 mar. 2015.

AWOYERA, P. O. et al. Characterization of ceramic waste aggregate concrete. **HBRC Journal**, v. 14, n. 3, p. 282–287, dez. 2018.

BENTCHIKOU, M. et al. Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix. **Construction and Building Materials**, v. 34, p. 451–456, 1 set. 2012.

BEZERRA, E. M. et al. The effect of different mineral additions and synthetic fiber contents on properties of cement based composites. **Cem Concr Compos**, v. 28, n. 6, p. 555–563, jul. 2006.

BISHT, K.; RAMANA, P. V. Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. **Constr Build Mater**, v. 155, p. 811–817, 30 nov. 2017.

CAMARGO, M. M. et al. A Review on Natural Fiber-Reinforced Geopolymer and Cement-Based Composites. **Materials 2020, Vol. 13, Page 4603**, v. 13, n. 20, p. 4603, 16 out. 2020.

CARVALHO EUGÊNIO, T. M. et al. Study on the feasibility of using iron ore tailing (iot) on technological properties of concrete roof tiles. **Construction and Building Materials**, v. 279, p. 122484, 12 abr. 2021.

CHEN, M. C. et al. Research on Durability of Recycled Ceramic Powder Concrete. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 216, n. 1, 2 jul. 2017.

CORREIA, V. D. C. et al. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber–cement materials. **Constr. Build. Mater.**, v. 72, p. 65–71, 15 dez. 2014.

COUTTS, R. S. P. A review of Australian research into natural fibre cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 5, p. 518–526, 1 maio 2005.

DE ANDRADE SALGADO, F.; DE ANDRADE SILVA, F. Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 52, p. 104452, 15 jul. 2022.

DE LIMA, T. E. S. et al. Potential of Using Amazon Natural Fibers to Reinforce

Cementitious Composites: A Review. **Polymers** **2022**, Vol. **14**, Page **647**, v. 14, n. 3, p. 647, 8 fev. 2022.

DE SOUZA KAZMIERCZAK, C. et al. Rendering mortars with crumb rubber: mechanical strength, thermal and fire properties and durability behaviour. **Constr Build Mater**, v. 253, p. 119002, 30 ago. 2020.

DI MUNDO, R. et al. Water absorption in rubber-cement composites: 3D structure investigation by X-ray computed-tomography. **Construction and Building Materials**, v. 228, 20 dez. 2019.

ELÇI, H. Utilisation of crushed floor and wall tile wastes as aggregate in concrete production. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 742–752, 20 jan. 2016.

FARRAPO, C. L. et al. Cellulose associated with pet bottle waste in cement based composites. **Mater Res**, v. 20, n. 5, p. 1380–1387, 1 out. 2017.

FERRARA, L. et al. Effects of autogenous healing on the recovery of mechanical performance of High Performance Fibre Reinforced Cementitious Composites (HPFRCCs): Part 1. **Cement and Concrete Composites**, v. 83, p. 76–100, 1 out. 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Rev Bras Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529, 20 dez. 2019.

FILHO, J. N. S. et al. Technical and Environmental Feasibility of Interlocking Concrete Pavers with Iron Ore Tailings from Tailings Dams. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 9, set. 2017.

FILHO, N. T. D. A. et al. Mechanical resistance of lightweight cement composites utilizing industrial residues and fibers of sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 894–902, 2012.

FONSECA, C. S. et al. Eucalyptus cellulose micro/nanofibrils in extruded fibercement composites. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 59–68, 2016a.

FONSECA, C. S. et al. Micro/nanofibrilas celulósicas de eucalyptus em fibrocimentos extrudados. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 59–68, 1 jan. 2016b.

FONSECA, C. S. et al. Jute fibers and micro/nanofibrils as reinforcement in extruded fiber-cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 211, p. 517–527, 30 jun. 2019.

FOTI, D.; CAVALLO, D. Mechanical behavior of concretes made with non-conventional organic origin calcareous aggregates. **Constr Build Mater**, v. 179, p. 100–106, 10 ago. 2018.

HAN, B.; ZHANG, L.; OU, J. **Smart and multifunctional concrete toward**

sustainable infrastructures. [s.l.] Springer Singapore, 2017.

HANIF, A. et al. Early-age behavior of recycled aggregate concrete under steam curing regime. **J Clean Prod**, v. 152, p. 103–114, 20 maio 2017.

HEIDARI, A.; TAVAKOLI, D. A study of the mechanical properties of ground ceramic powder concrete incorporating nano-SiO₂ particles. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 255–264, jan. 2013.

HOSSEINPOURPIA, R. et al. Production of waste bio-fiber cement-based composites reinforced with nano-SiO₂ particles as a substitute for asbestos cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 105–111, 2012.

HUANG, B. T. et al. Tensile fatigue behavior of fiber-reinforced cementitious material with high ductility: Experimental study and novel P-S-N model. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 349–359, 30 jul. 2018a.

HUANG, L. et al. Carbon emission of global construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1906–1916, 1 jan. 2018b.

HUSEIEN, G. F. et al. Effects of ceramic tile powder waste on properties of self-compacted alkali-activated concrete. **Construction and Building Materials**, v. 236, 10 mar. 2020.

JAIN, P.; GUPTA, R.; CHAUDHARY, S. A literature review on the effect of using ceramic waste as supplementary cementitious material in cement composites on workability and compressive strength. **Materials Today: Proceedings**, 2022a.

JAIN, P.; GUPTA, R.; CHAUDHARY, S. Comprehensive assessment of ceramic ETP sludge waste as a SCM for the production of concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 57, p. 104973, 1 out. 2022b.

JIANG, D. et al. Effect of flame-retardant rice straw fibers on properties of fiber cement-based composites at high temperatures. **Journal of Building Engineering**, v. 44, n. July, p. 102923, 2021.

JONES, M. et al. Waste-derived low-cost mycelium composite construction materials with improved fire safety. **Fire Mater**, v. 42, n. 7, p. 816–825, 1 nov. 2018.

KANNAN, D. M. et al. High performance concrete incorporating ceramic waste powder as large partial replacement of Portland cement. **Construction and Building Materials**, v. 144, p. 35–41, 30 jul. 2017.

KAZMI, S. M. S. et al. Effect of recycled aggregate treatment techniques on the durability of concrete: A comparative evaluation. **Construction and Building Materials**, v. 264, 20 dez. 2020.

- LE, H. B.; BUI, Q. B. Recycled aggregate concretes – A state-of-the-art from the microstructure to the structural performance. **Construction and Building Materials**, v. 257, 10 out. 2020.
- LEE, H. et al. Performance evaluation of concrete incorporating glass powder and glass sludge wastes as supplementary cementing material. **J Clean Prod**, v. 170, p. 683–693, 1 jan. 2018.
- LERTWATTANARUK, P.; SUNTIJITTO, A. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 664–669, 30 set. 2015.
- LIN, Y.; DU, H. Graphene reinforced cement composites: A review. **Construction and Building Materials**, v. 265, p. 120312, 2020.
- LONG, W. J. et al. Damping characteristics of PVA fiber-reinforced cementitious composite containing high-volume fly ash under frequency-temperature coupling effects. **Cement and Concrete Composites**, v. 118, 1 abr. 2021.
- LÓPEZ, V. et al. Eco-efficient Concretes: Impact of the Use of White Ceramic Powder on the Mechanical Properties of Concrete. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 4, p. 559–564, abr. 2007.
- LUHAR, I. et al. Assessment of the Suitability of Ceramic Waste in Geopolymer Composites: An Appraisal. **Materials 2021, Vol. 14, Page 3279**, v. 14, n. 12, p. 3279, 14 jun. 2021.
- MAGBOOL, H. M. Utilisation of ceramic waste aggregate and its effect on Eco-friendly concrete: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 47, 15 abr. 2022.
- MÁRMOL, G.; SAVASTANO, H. Study of the degradation of non-conventional MgO-SiO₂ cement reinforced with lignocellulosic fibers. **Cement and Concrete Composites**, v. 80, p. 258–267, 1 jul. 2017.
- MEENA, R. V. et al. Use of waste ceramics to produce sustainable concrete: A review. **Cleaner Materials**, v. 4, p. 100085, 1 jun. 2022.
- MENDES, R. F. et al. Study of the use of polymeric waste as reinforcement for extruded fiber-cement. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 42737–42749, 2021a.
- MENDES, R. F. et al. Study of new reinforcing materials for cementitious panel production. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 28, p. 37217–37230, 1 jul. 2021b.
- MENDES, R. F. et al. Study of the use of polymeric waste as reinforcement for

extruded fiber-cement. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 31, p. 42737–42749, 1 ago. 2021c.

MOLIN FILHO, R. G. D. et al. Characterization of different sugarcane bagasse ashes generated for preparation and application as green products in civil construction. **Clean Techn Environ Policy**, v. 21, n. 8, p. 1687–1698, 1 out. 2019.

MORTON, J. H.; COOKE, T.; AKERS, S. A. S. Performance of slash pine fibers in fiber cement products. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 2, p. 165–170, 1 fev. 2010.

O Fibrocimento – ANF. Disponível em: <<https://anf-br.org/o-fibrocimento/>>. Acesso em: 3 ago. 2022.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: a review. **Constr. Build. Mater.**, v. 25, n. 2, p. 575–581, fev. 2011.

PIÑA RAMÍREZ, C. et al. Analysis of the mechanical behaviour of the cement mortars with additives of mineral wool fibres from recycling of CDW. **Constr Build Mater**, v. 210, p. 56–62, 20 jun. 2019.

PITARCH, A. M. et al. Pozzolanic activity of tiles, bricks and ceramic sanitary-ware in eco-friendly Portland blended cements. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 10 jan. 2021.

RANACHOWSKI, Z. et al. Investigation of structural degradation of fiber cement boards due to thermal impact. **Materials (Basel)**, v. 16, n. 6, p. 944, 1 mar. 2019.

RASHID, K. et al. Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 829–840, 15 nov. 2017.

RAY, S. et al. Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 43, n. February, 2021.

SALGADO, F. DE A.; SILVA, F. DE A. Properties of recycled aggregates from different composition and its influence on concrete strength. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, n. 6, 2021.

SAMADI, M. et al. PROPERTIES OF MORTAR CONTAINING CERAMIC POWDER WASTE AS CEMENT REPLACEMENT. **Jurnal Teknologi**, v. 77, n. 12, p. 93–97, 17 nov. 2015.

SAVASTANO, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 3, p. 311–319, 1 abr. 2003.

- SENTHAMARAI, R. M.; DEVADAS MANOHARAN, P. Concrete with ceramic waste aggregate. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 9–10, p. 910–913, 2005.
- SIDDIKA, A. et al. Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. **Constr Build Mater**, v. 224, p. 711–731, 10 nov. 2019.
- SIVAKUMAR, A. et al. Impact of waste ceramic tiles as partial replacement of fine and coarse aggregate in concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 61, p. 224–231, 2022.
- SUCHITHRA, S.; SOWMIYA, M.; PAVITHRAN, T. Effect of ceramic tile waste on strength parameters of concrete-a review. **Materials Today: Proceedings**, v. 65, p. 975–982, 1 jan. 2022a.
- SUCHITHRA, S.; SOWMIYA, M.; PAVITHRAN, T. Effect of ceramic tile waste on strength parameters of concrete-a review. **Materials Today: Proceedings**, 12 abr. 2022b.
- TALAEI, M.; MOSTOFINEJAD, D. Mechanical properties of fiber-reinforced concrete containing waste porcelain aggregates under elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 289, 28 jun. 2021.
- TEIXEIRA, J. N. et al. Lignocellulosic Materials for Fiber Cement Production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 5, p. 2193–2200, 2020a.
- TEIXEIRA, J. N. et al. Lignocellulosic Materials for Fiber Cement Production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 5, p. 2193–2200, 1 maio 2020b.
- TOLÊDO ROMILDO D., F. D. et al. Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 2, p. 185–196, 1 fev. 2003.
- VILAS MEENA, R. et al. “Impact of waste ceramic tile on resistance to fire and abrasion of self-compacting concrete”. **Materials Today: Proceedings**, v. 60, p. 167–172, 1 jan. 2022.
- WEI, J.; MEYER, C. Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. **Cement and Concrete Research**, v. 73, p. 1–16, 1 jul. 2015.
- YAO, X. et al. Graphene oxide-coated Poly(vinyl alcohol) fibers for enhanced fiber-reinforced cementitious composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, 1 out. 2019.
- ZANELLI, C. et al. Waste recycling in ceramic tiles: a technological outlook. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, 1 maio 2021.
- ZAREEI, S. A. et al. Recycled ceramic waste high strength concrete containing wollastonite particles and micro-silica: A comprehensive experimental study.

Construction and Building Materials, v. 201, p. 11–32, 20 mar. 2019a.

ZAREEI, S. A. et al. Green high strength concrete containing recycled waste ceramic aggregates and waste carpet fibers: Mechanical, durability, and microstructural properties. **Journal of Building Engineering**, v. 26, 1 nov. 2019b.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PISOS
CERAMICOS PARA PRODUÇÃO DE FIBROCIMENTO**

**STUDY OF THE FEASIBILITY OF THE USE OF WASTE FROM CERAMIC
FLOORS FOR FIBROCEMENT PRODUCTION**

Francisco, J. F. ⁽¹⁾; Mendes, R. F. ⁽²⁾; Eugênio, T. M. C. ⁽³⁾

(1) Departamento de Engenharia, UFLA

(2) Professor Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA

(3) Professor Doutor, Departamento de Ensino, IF Sudeste MG – Campus avançado

Bom Sucesso

Endereço para correspondência: rafael.mendes@ufla.br

1 RESUMO

Para suprir a demanda da construção civil, é extraído um grande volume de recursos naturais combinado ao amplo consumo energético e a geração de grandes volumes de resíduos. Diante desses aspectos tem-se aumentado a busca de novas tecnologias com intenção de minimizar os impactos causados ao meio ambiente. A incorporação de resíduos na produção de compósitos de matriz cimentícia vem sendo estudada a fim de reduzir a extração e consumo de matérias-primas não renováveis. O Brasil é o terceiro maior produtor de cerâmica do mundo, estima-se que 30% de sua produção já é transformada em resíduo sem mesmo sair da fábrica. Além dos resíduos industriais de cerâmica tem-se também um grande volume gerado dia após dia, oriundos de reformas de construção e demolição de edificações, apresentando um grande volume que hoje é descartado em aterros sanitários ou a céu aberto contaminando o meio ambiente e podendo trazer proliferação de doenças através de insetos que são atraídos por esses ambientes. Portanto deve-se encontrar métodos de descarte adequados de maneira que agregue valores a esses resíduos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de resíduos de pisos cerâmicos em substituição ao calcário agrícola moído na produção de fibrocimento extrudado. Para este estudo foi definido um tratamento controle, sem adição do resíduo cerâmico, nos demais tratamentos, o calcário foi substituído em 25, 50, 75 e 100% em relação ao seu peso na formulação de fibrocimento. O fibrocimento foi avaliado aos 28 dias de cura e após envelhecimento acelerado, quanto às propriedades de densidade, absorção de água, porosidade, módulo de ruptura, módulo de elasticidade e tenacidade. O efeito da quantidade de resíduo utilizado sugere o uso de até 75% da substituição do calcário agrícola moído, para efeitos de otimização das propriedades físicas e mecânicas do fibrocimento, atendendo aos padrões de comercialização. Os resíduos de pisos cerâmicos podem ser utilizados em substituição ao calcário na produção de fibrocimento, esses resíduos proporcionaram melhorias nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade dos fibrocimentos extrudados, tomando um destino correto e sustentável e possibilitando a descoberta de novos materiais para o setor da construção civil.

Palavras – chaves: compósitos cimentícios; resíduo de construção; sustentabilidade; resíduos cerâmicos; propriedades físicas e mecânicas

ABSTRACT

To meet the demand of civil construction, a large volume of natural resources is extracted, combined with ample energy consumption and the generation of large volumes of waste. Given these aspects, the search for new technologies with the intention of minimizing the impacts caused to the environment has increased. The incorporation of residues in the production of cement matrix composites has been studied in order to reduce the extraction and consumption of non-renewable raw materials. Brazil is the third largest producer of ceramics in the world, it is estimated that 30% of its production is already transformed into waste without even leaving the factory. In addition to industrial ceramic waste, there is also a large volume generated day after day, arising from construction reforms and demolition of buildings, presenting a large volume that today is discarded in sanitary landfills or in the open, contaminating the environment and can bring proliferation of diseases through insects that are attracted to these environments. Therefore, adequate disposal methods must be found in a way that adds value to these residues. This study aimed to evaluate the use of ceramic flooring residues to replace ground agricultural limestone in the production of extruded fiber cement. For this study, a control treatment was defined, without the addition of ceramic residue, in the other treatments, the limestone was replaced at 25, 50, 75 and 100% in relation to its weight in the fiber cement formulation. The fiber cement was evaluated after 28 days of curing and after accelerated aging, regarding the properties of density, water absorption, porosity, modulus of rupture, modulus of elasticity and tenacity. The use of ceramic flooring residues in proportions of 25, 50 and 75% showed satisfactory results in accordance with the criteria established by the fiber cement commercialization standards. In terms of mechanical properties, the fiber cements showed an upward trend for the modulus of rupture (MOR) until the treatment of 50%, followed by a very small decrease for the treatment of 75%, and an abrupt decrease for the treatment of 100% , at 28 days and after aging. The modulus of elasticity (MOE) at 28 days showed an increase only for the treatment of 25% in relation to the control. The same value as the control at 50% was maintained, showing a small drop for the 75% treatment. For the 100% replacement treatment, the MOE showed a very high value because the fiber cement did not show stiffness at 28 days. For aging, its behavior was similar, except for the 100% replacement treatment, which presented an MOE of 55.74% higher than the control. For toughness,

with the exception of the treatment with 100% residue, all treatments showed a significant improvement in toughness, for 28 days of curing and also after aging.

Key words: cementitious composites; construction waste; sustainability; ceramic waste; physical and mechanical properties

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é classificada como um dos maiores consumidores de energia e recursos naturais não renováveis, listada entre os principais setores responsáveis pela maior geração de volume de resíduos (HANIF et al., 2017; LEE et al., 2018). Responsável pela emissão de aproximadamente 6 bilhões de toneladas de CO₂ (HUANG et al., 2018b), o setor da construção civil demanda mais de 700 milhões de toneladas/ano de matéria prima e gera um grande excesso de resíduos na construção, reformas e demolições de edifícios (DE ANDRADE SALGADO; DE ANDRADE SILVA, 2022). Nesse contexto, é necessária a busca da minimização de tais fatores, e o desenvolvimento de novos produtos sustentáveis, através do uso de resíduos, têm apresentado soluções atraentes para o meio ambiente e para o mercado de materiais de construção (JONES et al., 2018; MOLIN FILHO et al., 2019; ZANELLI et al., 2021).

O fibrocimento como material de construção é popularmente conhecido na forma de telhas, placas, materiais pré-moldados em geral, e estudos tem apresentado avanços positivos consideráveis na utilização desses compósitos (HUANG et al., 2018a; LONG et al., 2021; MENDES et al., 2021a; TEIXEIRA et al., 2020a). O fibrocimento é uma mistura composta por ligantes, cimento, e agregado, calcário, aditivos e pequenas fibras dispersas na mistura. Essas fibras reforçam a microestrutura do compósito, aumentando a resistência ao impacto, a ductilidade e a absorção de energia (FARRAPO et al., 2017; RANACHOWSKI et al., 2019; YAO et al., 2019). No entanto, para sua produção é necessário grande volume de recursos naturais, seja para a produção do cimento ou na extração do calcário para sua substituição (CAMARGO et al., 2020; TALAEI; MOSTOFINEJAD, 2021).

Devido a essas condições, têm-se buscado através de pesquisas novos métodos para o desenvolvimento sustentável de matérias-primas alternativas, como subprodutos ou reaproveitamento de resíduo (AMIN; TAYEH; AGWA, 2020; FONSECA et al., 2019; FOTI; CAVALLO, 2018; MENDES et al., 2021b). Dentre as principais estratégias ambientais estão, a reciclagem de resíduos e a redução em sua produção (HUSEIEN et al., 2020; PITARCH et al., 2021). Nessa busca por uma construção mais limpa, redução dos custos de produção e melhoria da eficiência energética, resíduos vêm sendo utilizados na substituição de materiais de reforços, como por exemplo, fibras sintéticas, ou como

agregados graúdos e miúdos e até mesmo na substituição do próprio cimento (KAZMI et al., 2020; LE; BUI, 2020; PIÑA RAMÍREZ et al., 2019).

Podendo ser reaproveitados em matrizes cimentícias, os resíduos cerâmicos possuem características de resistência mecânicas, e notavelmente resistentes à degradação química, biológica e física, idênticas aos agregados fabricados para concreto (MAGBOOL, 2022; SIVAKUMAR et al., 2022; SUCHITHRA; SOWMIYA; PAVITHRAN, 2022a). Segundo MEENA et al. (2022) nas últimas décadas a utilização de revestimentos cerâmicos nas edificações tem aumentado, fazendo com que sua indústria aumente substancialmente, consequência à grande demanda em reformas, construção e demolição do setor. Demanda a qual resulta no aumento da geração dos resíduos de construção e demolição. O Brasil é um dos principais protagonistas mundiais no mercado de revestimentos cerâmicos e louças sanitárias, sendo o terceiro maior produtor, o segundo maior mercado consumidor e o sétimo no ranking das exportações, com vendas para mais de 110 países (ANFACER, 2022). A produção brasileira de revestimentos cerâmicos em 2021 foi de 1048,6 milhões de m², durante a produção cerca de 30% acabam se tornando resíduos, não tendo mais nenhuma aplicabilidade em nenhuma etapa nesse processo de fabricação, restando assim apenas o descarte como resíduo. (AWOYERA et al., 2018; MAGBOOL, 2022; ANFACER, 2022).

Devido a esse crescimento acelerado, os produtores cerâmicos estão pressionados para encontrar uma solução adequada para o descarte desses resíduos (MAGBOOL, 2022; SUCHITHRA; SOWMIYA; PAVITHRAN, 2022a). O descarte irregular em aterros sanitários ou a céu aberto, apresenta grandes chances de contaminação ambiental, podendo atingir diretamente a saúde humana, gerando ambientes favoráveis a proliferação de insetos transmissores de doenças (LE; BUI, 2020; MEENA et al., 2022; SIDDIKA et al., 2019).

Atualmente já foram desenvolvidos estudos utilizando resíduos de materiais cerâmicos como matéria-prima para produção de pisos, louças sanitárias, telhas e tijolos (DE ANDRADE SALGADO; DE ANDRADE SILVA, 2022; MAGBOOL, 2022; SALGADO; SILVA, 2021; SIVAKUMAR et al., 2022; SUCHITHRA; SOWMIYA; PAVITHRAN, 2022b). No entanto, não há estudos realizados com a utilização de resíduos cerâmicos em materiais compósitos de matriz cimentícia obtidos por extrusão. Portanto, para tornar possível a aplicação desses resíduos com tal finalidade para a

produção de fibrocimento em escala industrial, é necessário um melhor entendimento de como o resíduo e sua quantidade afetam as propriedades dos compósitos.

Nesse contexto, buscando reduzir o consumo de matérias-primas não renováveis, reduzir o impacto ambiental gerado pelo descarte incorreto, agregando valor econômico aos resíduos cerâmicos, destinando o seu descarte para uma reutilização de maneira correta e sustentável, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações do resíduo de piso cerâmico sobre as propriedades físicas, mecânicas, e de durabilidade do fibrocimento extrudado substituindo em sua composição o calcário agrícola moído.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

O resíduo para a substituição do calcário no fibrocimento foi obtido a partir de pisos de porcelanato cerâmico, NORD RIS 60X60 cm NAT RET doados pela empresa Miari & Cia da cidade de Três Pontas, no estado de Minas Gerais. Os pisos foram processados por um britador de resíduo de construção civil. Após o processo de trituração realizou-se o peneiramento desse resíduo em uma peneira de malha equivalente a 100 mesh (0,149 mm).

3.2 Produção

A produção dos compósitos foi realizada em escala laboratorial pelo procedimento de extrusão. Sendo a matriz cimentícia composta de cimento Portland CPV-ARI (ASTMC150 / C150M- 20, 2020), e filler carbonático (calcário agrícola moído). O calcário agrícola moído é utilizado com o intuito de reduzir custos na produção de fibrocimento, substituindo parcialmente o cimento Portland, tal prática já é conhecida e empregada nas indústrias de fibrocimento (MENDES et al., 2021b). Hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e poliéter carboxílico (ADVA) foram aplicados como modificadores reológicos. O HPMC foi produzido pela Aditex Ltda. (Brasil) com viscosidade entre 60.000 e 70.000 cP. Já o ADVA utilizado foi fornecido pela Grace Brasil Ltda. e tinha $1,1 \text{ gcm}^{-3}$ de densidade e pH 3,4.

Foi utilizado em todas as formulações 1,0% de cada aditivo (ADVA e HPMC) em relação ao peso do cimento, e também 5,0% de polpa celulósica branqueada de eucalipto, doada pela empresa Suzano Papel e Celulose.

A formulação do tratamento controle compreendeu 65% de cimento Portland CPV-ARI, 30% de calcário e 5% de celulose. Foi avaliado o efeito das concentrações de 25, 50, 75, 100% do resíduo cerâmico em substituição ao peso de calcário. A tabela 1 abaixo apresenta os tratamentos adotados com suas respectivas concentrações.

Tabela 1 - Porcentagem de substituição de resíduo por tratamento.

Tratamento	% Cimento	% Calcário	% Celulose	% Resíduo
1	65	30	5	0
2	65	22,5	5	7,5
3	65	15	5	15
4	65	7,5	5	22,5
5	65	0	5	100

Fonte: Do autor

Para a mistura dos materiais foi utilizado um misturador planetário (Fig. 1a). A princípio foram misturados os materiais secos, cimento, calcário, HPMC, celulose e o resíduo, logo após a homogeneização foram adicionados ADVA e a água, permanecendo em processo de mistura até que a massa atingisse o estado pseudoplástico e a celulose estivesse distribuída de forma homogênea. Segue na Tabela 2, a relação água / cimento utilizada.

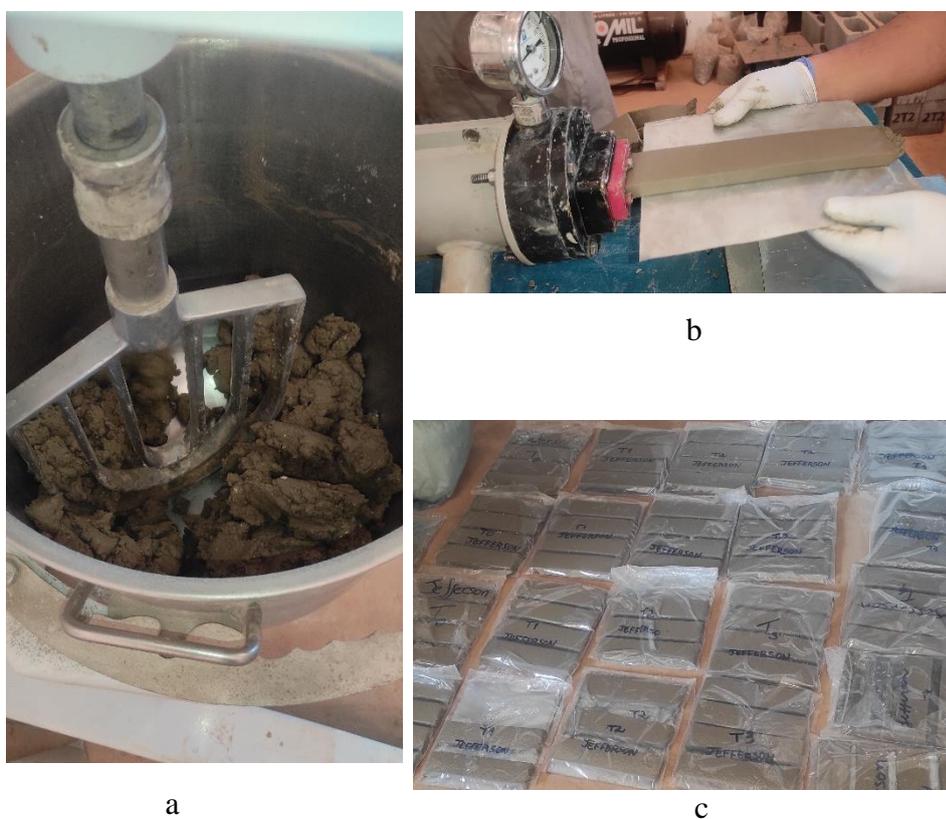
Tabela 2 - relação água cimento por tratamento

Tratamento	água/cimento
1	0,46
2	0,44
3	0,44
4	0,46
5	0,48

Fonte: Do autor.

A argamassa de cimento formada foi processada em extrusora helicoidal Natreb LTB-85 (Santa Catarina, Brasil), utilizando parafuso com diâmetro 100/130 mm, comprimento de 673 mm e velocidade de parafuso de 32rpm (Fig. 1b). As dimensões dos compósitos produzidos foram 200 mm × 50 mm × 15 mm × (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Após a moldagem, foram armazenados com presença de água em sacos plásticos, simulando uma câmara saturada à temperatura ambiente por 28 dias (Fig. 1c).

Figura 1 - a) Mistura de materiais. b) Extrusão da mistura. c) Armazenamento dos corpos de prova para cura.



Fonte: Do autor

3.3 Caracterização dos compósitos

3.3.1 Envelhecimento acelerado

Os ciclos de envelhecimento acelerado por imersão e secagem foram realizados com o intuito de simular o envelhecimento natural conforme estudos anteriores (BEZERRA et al., 2006; FONSECA et al., 2019; MENDES et al., 2021c; TEIXEIRA et al., 2020b). Cada ciclo compreendeu a uma seção de uma imersão e uma secagem. Onde os compósitos foram submetidos a 18 horas de imersão em água a 20 ± 5 °C, após a

imersão, foram levados a uma estufa com temperatura de 60 ± 5 °C, por um período de 6 horas para secagem, seguindo a norma NBR 15498 (ABNT, 2021). Para o presente trabalho foram realizados 25 ciclos, com intuito de identificar modificações nos comportamentos físicos e mecânicos dos compósitos. Após os ciclos, as amostras foram direcionadas para os ensaios de caracterização física e mecânica.

3.3.2 Propriedades físicas

Para a obtenção dos valores médios de absorção de água, densidade aparente e porosidade foram utilizadas sete amostras para cada condição (aos 28 dias e cura e após o envelhecimento acelerado), seguiu-se os procedimentos especificados na norma ASTM C 948-81 (2016). O método para a determinação dessas propriedades consiste na submersão dos corpos-de-prova em água destilada a temperatura ambiente por um período de 24 horas. Com a amostra dentro da água, de maneira que a amostra não tenha contato com o recipiente a fim de quantificar a massa de água deslocada em função do volume da amostra, determina-se a massa imersa (M_i). Retirando-a da água e tirando o excesso de água na superfície através de um leve enxugamento desta, obtém-se a massa úmida (M_u). Logo após as amostras devem permanecer por 24 horas em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 105 ± 5 °C, para que sucessivamente sejam pesadas novamente para a determinação da massa seca (M_s).

As equações para a determinação das propriedades físicas estão apresentadas a seguir:

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = \frac{M_s}{M_u - M_i} * \rho_w \quad (1)$$

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{M_u - M_s}{M_s} * 100 \quad (2)$$

$$\text{Porosidade Aparente (\%)} = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} * 100 \quad (3)$$

Onde:

M_i = Massa imersa

M_s = Massa seca

M_u = Massa úmida

ρ_w = Densidade do líquido em que as amostras foram imersas

3.3.3 Propriedades mecânicas

Na realização dos ensaios mecânicos utilizou-se a máquina de ensaios universal Instron, equipada com célula de carga de 20 kN (Fig. 2). A configuração padronizada no ensaio de flexão foi de três pontos com vão de 150 mm e velocidade de ensaio de 2 mm/min, para determinação dos valores de MOE, MOR e tenacidade dos compósitos.

Figura 2 - Máquina universal de ensaio de flexão em 3 pontos.



Fonte: Do autor.

As equações apresentadas a seguir, baseia-se nos procedimentos descritos em Rilem (1984), adotados para a realização dos ensaios mecânicos.

$$\text{Ensaio de compressão (MPa)} = \frac{C_{\text{máx}}}{b*d} \quad (4)$$

$$\text{Módulo de elasticidade (MPa)} = \frac{v\tilde{a}o^3*(C2-C1)}{4*(D2-D1)*b*d^3} \quad (5)$$

$$\text{Módulo de ruptura (MPa)} = \frac{3*C_{\text{máx}}*v\tilde{a}o}{2*b*d^2} \quad (6)$$

$$\text{Tenacidade (kJ/m}^2\text{)} = \frac{\text{energiaabsorvida}}{a} \quad (7)$$

Sendo:

$C_{\text{máx}}$ = Carga máxima aplicada em Newton

C_{lop} = Carga máxima aplicada antes da curva carga-deformação, em Newton

b = largura do corpo de prova em milímetros

d = espessura do corpo de prova em milímetros

$C1$ = Carga obtida dentro do regime elástico e menor que a $C2$, em Newton

C2 = Carga obtida dentro do regime elástico e maior que a C1, em Newton

D1 = Deformação obtida dentro do regime elástico e menor que a D2, em milímetros

D2 = Deformação obtida dentro do regime elástico e maior que a D1, em milímetros

energia absorvida = Energia na área sob a curva do gráfico, carga x deformação em Newton x milímetro

a = área da seção transversal do corpo de prova em milímetro quadrado

3.3.4 Análise estatística

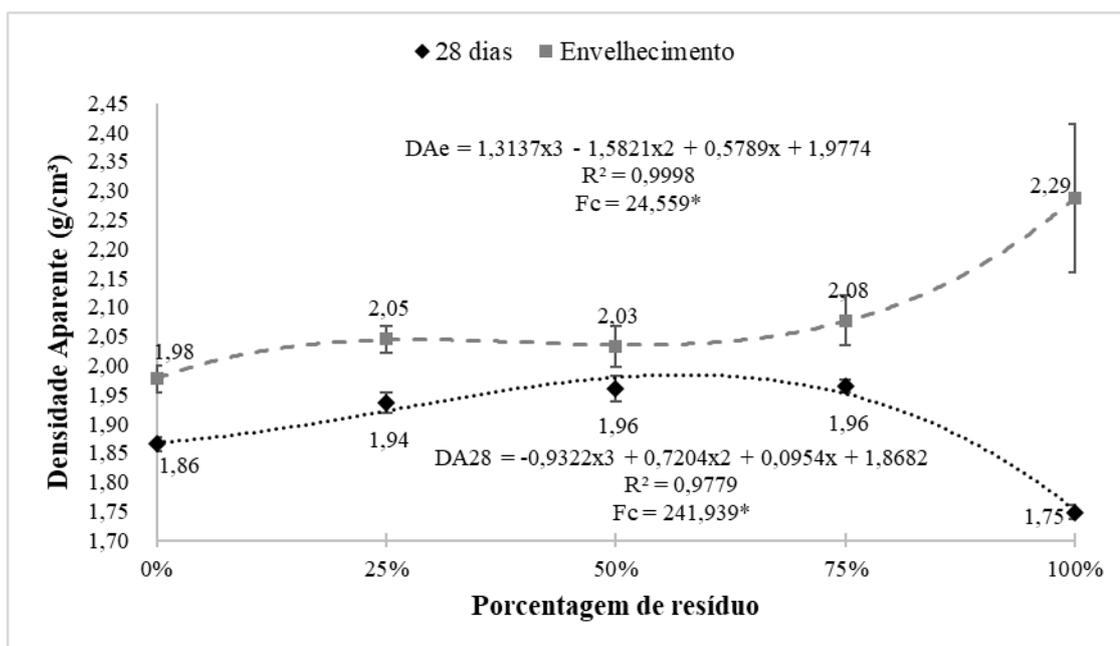
Para a realização da análise estatísticas dos dados foi empregado um delineamento inteiramente casualizado. Sendo que foram realizadas as análises de variância (ANOVA) e de regressão, ambas a 5% de significância, mediante a utilização do software Sisvar (FERREIRA, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades físicas

Na Figura 3 são apresentados os valores de densidade aparente para os fibrocimentos com a substituição do calcário pelo resíduo cerâmico.

Figura 3 - Densidade aparente dos fibrocimentos com resíduos de cerâmica.



Fonte: Do autor.

* – Significativo ao nível de 5% de significância.

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

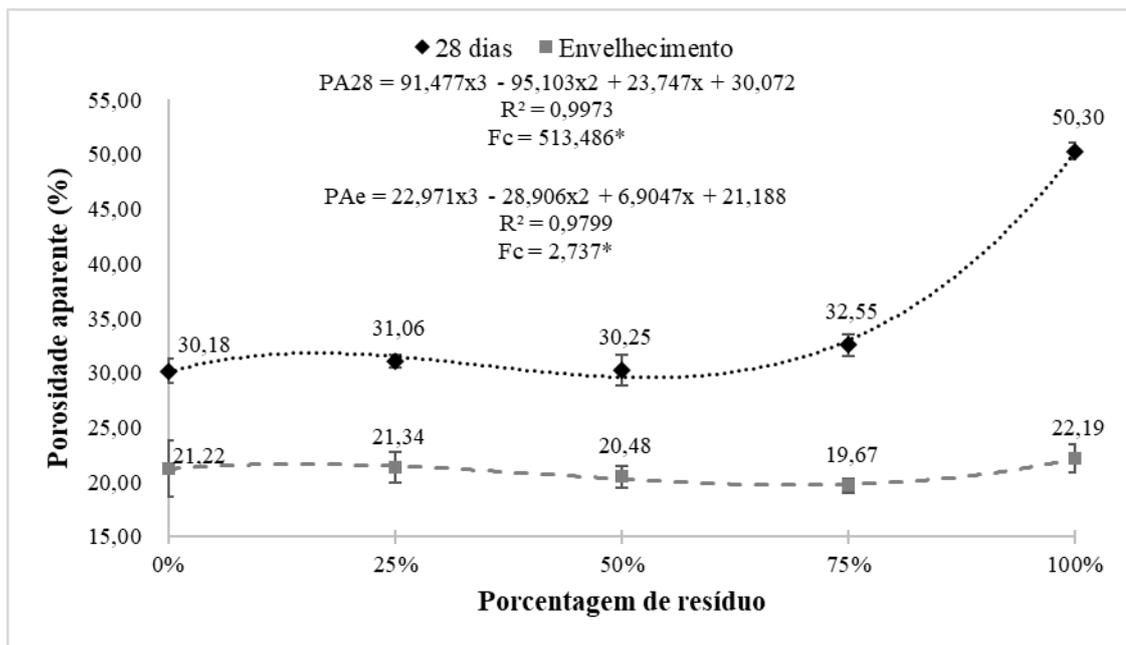
Até a substituição de 75% de resíduo, é possível observar em relação ao tratamento controle, um aumento na densidade dos fibrocimentos, tanto para cura aos 28 dias, quanto após o envelhecimento. Com 100% de substituição, houve uma redução da densidade aos 28 dias e um aumento significativo após o envelhecimento acelerado. O aumento da densidade está associado ao peso específico do resíduo que sendo de 2300 kg/m³, é maior do que o peso específico do calcário igual a 1500kg/m³, (ABNT NBR 6120, 2019). Na substituição de 100% aos 28 dias, observa-se uma queda significativa da densidade, o que pode estar associado ao fato dos fibrocimentos ainda não terem atingindo a cura, apresentando uma coloração escura parecendo ainda estarem saturados, esfarelado e não apresentavam rigidez. Desta forma, observa-se que os resíduos cerâmicos afetam a cura do cimento em porcentagens de substituição total, o que pode estar associado as suas características de maiores absorção de água, faltando assim água para cura completa dos compósitos.

A densidade aumenta à medida que os poros são preenchidos (MENDES et al., 2021a). O resíduo utilizado nesse estudo é classificado como fino, peneirado a uma abertura de 100 mesh, equivalente a 0,149 mm. Avaliando o efeito da utilização de diferentes tamanhos de partículas na produção de fibrocimento, Farrapo et al. (2017) constataram que compósitos produzidos com partículas menores, apresentam maior densidade logo após a cura. Segundo Mendes et al. (2021a) quanto menor a partícula, mais fácil o preenchimento de vazios na matriz cimentícia, gerando uma maior compactação, conseqüentemente um aumento da densidade.

No envelhecimento acelerado, o aumento na densidade dos compósitos, pode ser explicado pela continuidade das reações de carbonatação natural nos ciclos de envelhecimento e de hidratação da matriz cimentícia devido à exposição à água, resultando em uma matriz mais compacta (FARRAPO et al., 2017; FERRARA et al., 2017; HUSEIEN et al., 2020; MENDES et al., 2021a; TEIXEIRA et al., 2020a). Foi possível observar o comportamento semelhante tanto para o tratamento controle, quanto para as substituições avaliadas.

Na Figura 4 são apresentados os valores de porosidade aparente para os fibrocimentos com a substituição do calcário pelo resíduo cerâmico.

Figura 4 - Porosidade aparente dos fibrocimentos com resíduos de cerâmica.



Fonte: Do autor

* – Significativo ao nível de 5% de significância.

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

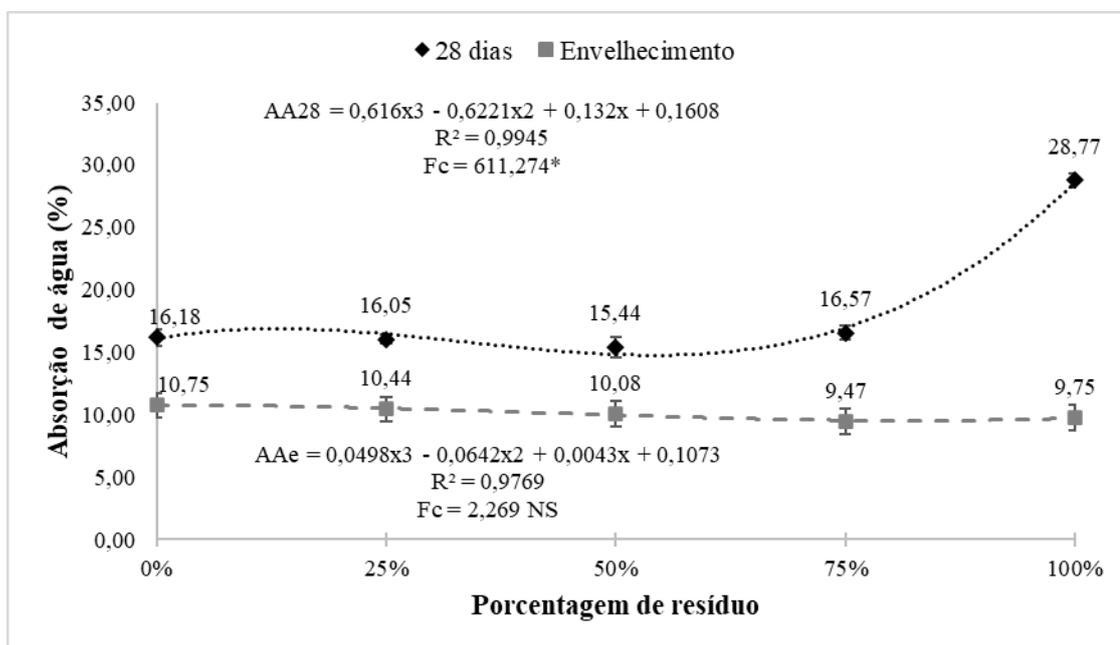
Para os fibrocimentos ensaiados aos 28 dias observa-se um aumento da PA aos 25%, no tratamento de 50%, houve uma redução em relação ao de 25%, voltando a aumentar novamente com o aumento da porcentagem do resíduo. Após o envelhecimento houve um aumento da porosidade na substituição de 25%, reduzindo com os tratamentos de 50 e 75% e voltando a aumentar com 100% de substituição de calcário por resíduos cerâmicos..

Está tendência de aumento da porosidade pode ser explicada pela característica da estrutura do resíduo cerâmico, que segundo Elçi (2016) ao avaliar as propriedades físico-mecânicas dos agregados cerâmicos, relata que as temperaturas típicas de queima do piso é de 1180°C, os pisos cerâmicos contêm em sua composição o mineral calcita que se decompõe completamente a quase 950 ° C. Esta decomposição leva à remoção de CO₂ e forma uma estrutura porosa. Heidari e Tavakoli (2013), observaram que o SiO₂ e Al₂O₃ no pó cerâmico moído podem reagir com Ca(OH)₂ na pasta de cimento para produzir C–A–H cristalino e gel C–S–H de baixa densidade, que pode preencher micro poros no concreto, aumentando a resistência de aderência entre a interface dos agregados, diminuindo a permeabilidade e melhorando a durabilidade do concreto.

Contudo, observa-se que a tendência de diminuição da porosidade ocorreu apenas após o envelhecimento acelerado, devido ao compósito ter ganhado mais tempo pra cura, sendo imerso em água e levado a temperatura mais alta, isso pode ter otimizado a cura e reduzido os poros. Para a substituição de 100%, a sua característica porosa, acaba absorvendo a água que seria usada para cura completa do cimento, o que resultou em valores destacados de porosidade quando o calcário foi substituído totalmente pelo resíduo de cerâmico, e também da densidade dos fibrocimentos (Figura 3).

Na Figura 5 são apresentados os valores de absorção de água para os fibrocimentos com a substituição do calcário pelo resíduo cerâmico.

Figura 5 - Absorção de água dos fibrocimentos com resíduos de cerâmica.



Fonte: Do autor.

* – Significativo ao nível de 5% de significância.

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

Para os fibrocimentos ensaiados aos 28 dias, até 50% houve redução da absorção de água, porém, os resultados são satisfatórios até a substituição de 75%, onde houve um pequeno acréscimo de AA. Contudo, com a substituição total do calcário por resíduo cerâmico, os valores de absorção de água aumentaram de forma destacada, apresentando relação direta com o aumento da porosidade dos compósitos (Figura 4)

Não foi observado efeito significativo para a absorção de água dos fibrocimentos após o envelhecimento acelerado. No entanto, observa-se redução dos valores médios em

relação ao tratamento controle quando comparado com todas as porcentagens de substituições avaliadas.

Materiais porosos em contato direto com a água causa o fenômeno de absorção capilar, que pode ocorrer devido às forças de adesão que atuam entre as moléculas de água e as paredes dos poros do material (DI MUNDO et al., 2019). Segundo Carvalho Eugênio et al. (2021), quando se tem uma área de contato menor entre a parede do poro e a água, existe uma redução do potencial de absorção dos materiais, fato que ocorreu com o envelhecimento acelerado dos fibrocimentos e conseqüentemente redução da porosidade dos materiais, o que justifica os resultados de menores valores de absorção de água após o envelhecimento acelerado, haja visto a sua continuidade de cura dos materiais ao entrar em contato com a água dos ciclos de envelhecimento.

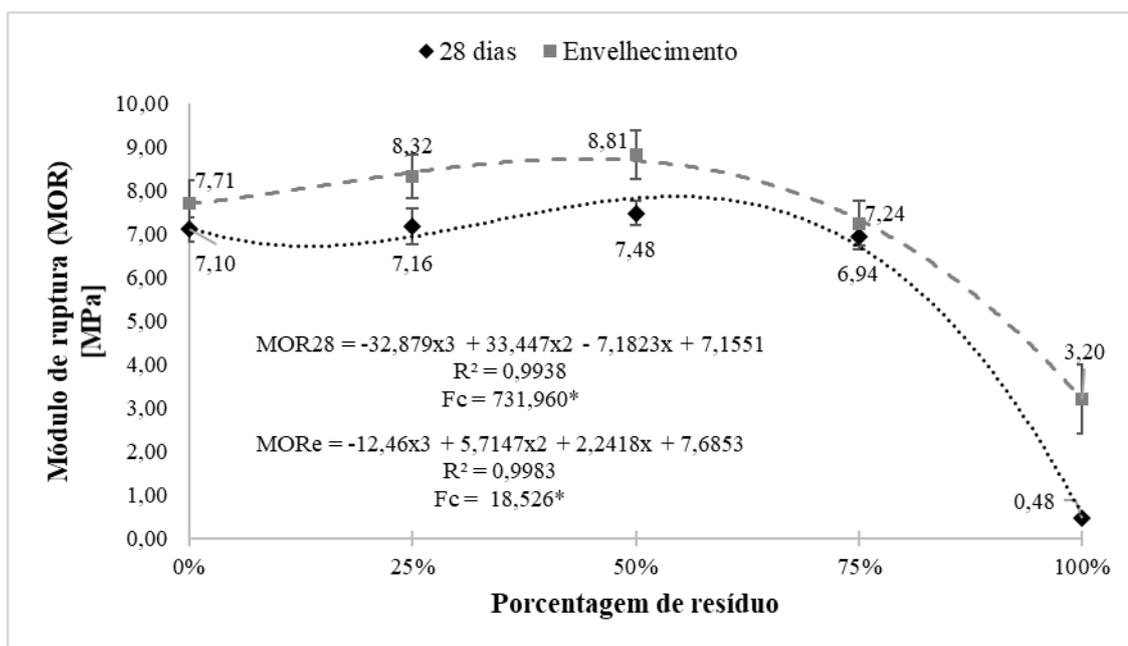
Carvalho Eugênio et al. (2021), observaram que telhas adicionadas com resíduos de minério de ferro, apresentaram valores reduzidos de absorção de água devido à redução do tamanho das partículas dos agregados pela adição do resíduo. Uma vez que este resíduo compreende um grande número de partículas muito finas, resultando um aumento dos produtos de hidratação e a essas partículas menores que preenchem os vazios dentro do compósito, promovendo uma melhor matriz de concreto, deixando menos espaço para a entrada de água nas telhas, e favorecendo sua durabilidade. Também foi observado por Filho et al. (2017) ao avaliar o uso de resíduos de minério de ferro como agregado miúdo, substituindo os agregados tradicionais com concentrações de 10 a 80% de resíduos na produção de blocos de concreto intertravados, que quanto mais resíduo, menor a entrada de substâncias agressivas junto com a água nos blocos de concreto, tornando-os mais duráveis.

De acordo com a norma NBR 7581-1 (ABNT 2014), que estabelece um limite máximo de 37% de absorção de água para o fibrocimento sem amianto, todos os tratamentos aqui avaliados, atendem os critérios determinados pela norma.

4.2 Propriedades mecânicas

Na Figura 6 são apresentados os valores do módulo de ruptura (MOR) para os fibrocimentos com a substituição do calcário pelo resíduo cerâmico, obtidos no ensaio de flexão estática aos 28 dias de cura e após o envelhecimento acelerado, em diferentes concentrações.

Figura 6 - MOR dos fibrocimentos com resíduos de cerâmica.



Fonte: Do autor.

* – Significativo ao nível de 5% de significância.

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

É possível observar tanto para cura aos 28 dias, quanto para após o envelhecimento acelerado, um aumento do módulo de ruptura (MOR) dos fibrocimentos até a substituição de 50% do calcário pelo resíduo cerâmico. Para substituição de 75% aos 28 dias observa-se uma redução do MOR de 2%, após o envelhecimento houve uma queda de aproximadamente 6%, para a substituição de 100% do calcário pelo resíduo cerâmicos, observou-se uma redução, tanto para 28 dias, quanto após o envelhecimento acelerado.

Correia et al. (2014) e FONSECA et al. (2016b) relatam que o aumento das propriedades mecânicas ocorre devido à hidratação do cimento durante a cura e o processo continua após o envelhecimento acelerado, devido a precipitação dos produtos de hidratação e a carbonatação natural dos compósitos, resultando no preenchimento de poros que aumenta a rigidez e a resistência mecânica dos compósitos, isso indica que não houve degradação de partículas pelos ciclos de envelhecimento. Fato que explica o comportamento mecânicos dos fibrocimentos até 50% de substituição. A partir dos 75% aumenta-se muito a porosidade do compósito, resultando numa maior absorção de água que influencia na cura do cimento. Por esse motivo, o tratamento que substitui 100% do

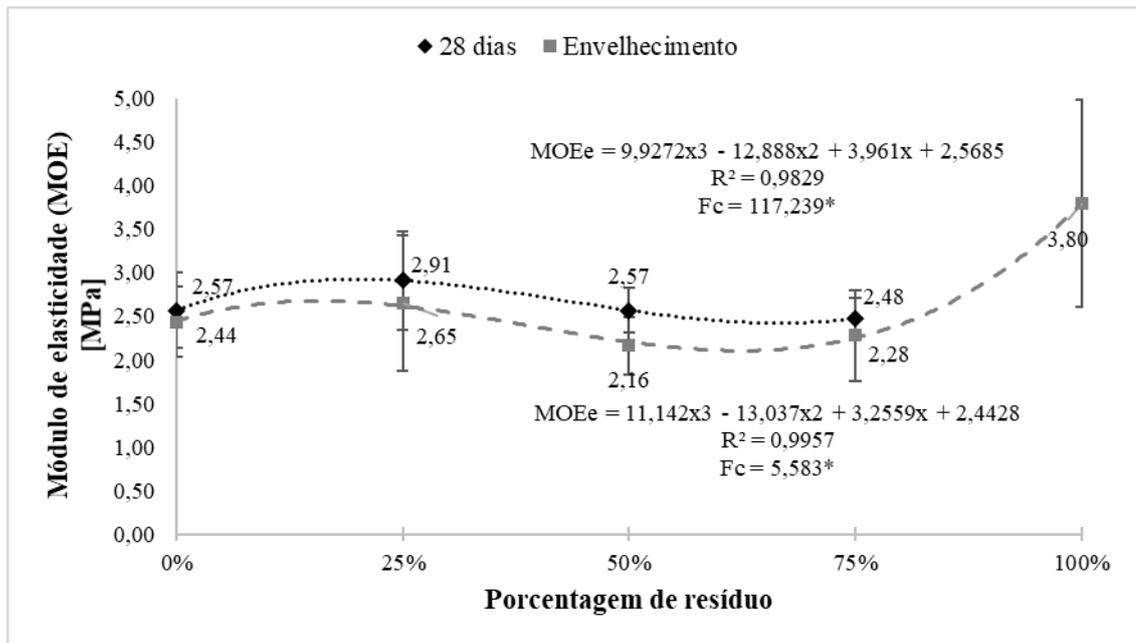
calcário agrícola moído, não apresentou rigidez aos 28 dias resultando num baixo MOR (Figura 6). Tendo continuidade na hidratação da matriz nos ciclos de envelhecimento devido ao contato com a água, foi possível observar um aumento do MOR em 50% em comparação ao tratamento controle.

Ao estudar o desempenho de argamassas com adição de resíduos cerâmicos, ABADOU et al. (2016) através de microscopia óptica, observaram que mesmo sendo um material poroso, o resíduo de cerâmica possui uma alta adesão à pasta de cimento. Isso explica o motivo de que embora tenha proporcionado um leve aumento da porosidade do compósito, a adição do resíduo cerâmico também aumenta a resistência mecânica do compósito.

A norma NBR 15498 (ABNT 2021), que apresenta as diretrizes para fibrocimento planos sem amianto, estabelece valores de MOR para classe A, os quais são adequados para aplicações externas diretamente afetadas por luz solar, chuva, umidade e calor, sendo: 4 MPa para categoria 1, 7 MPa para a categoria 2, 13 MPa para a categoria 3, 18 MPa para a categoria 4 e 24 para a categoria 5. Portanto, para a cura aos 28 dias, os tratamentos controle, e com substituição de 25 e 50% atenderam a categoria 2. O tratamento de 75% de resíduo atende a categoria 1, a substituição de 100% não atende nenhuma das categorias. Após o envelhecimento acelerado, até 75% de substituição de resíduo, atenderam a categoria 2 estabelecidos pela norma. O tratamento de 100% de substituição não atende aos critérios da NBR 15498 (ABNT 2021).

Na Figura 7 são apresentados os valores do módulo de elasticidade (MOE) para os fibrocimentos com a substituição do calcário pelo resíduo cerâmico, obtidos no ensaio de flexão estática aos 28 dias de cura e após o envelhecimento acelerado, em diferentes concentrações.

Figura 7 - MOE dos fibrocimentos com resíduos de cerâmica.



Fonte: Do autor.

* – Significativo ao nível de 5% de significância.

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

Nota: para a substituição de 100% de resíduo, o compósito não atingiu a cura aos 28 dias não apresentando rigidez, o MOE para esse tratamento foi desconsiderado.

Para o tratamento de 25% de substituição, houve um aumento do MOE em relação ao tratamento controle, tanto para cura aos 28 dias, quanto para após o envelhecimento. Para o tratamento de 50% houve um diminuição significativa após o envelhecimento, para a cura aos 28 dias suas propriedades em relação ao controle foram mantidas. Na substituição de 75% houve uma redução de 8% e 6,5% para os fibrocimentos com 28 dias e após o envelhecimento, respectivamente. O tratamento com substituição de 100% aos 28 dias não apresentou rigidez, portanto não foi possível mensurar seus parâmetros.

O aumento do MOE está relacionado à boa aderência do resíduo cerâmico à matriz cimentícia, conseqüentemente à porosidade. Observa-se que para os valores de substituição até 50%, foi melhorado o módulo de elasticidade dos compósitos em relação ao controle. Podendo ser explicada pela redução das propriedades de porosidade e absorção de água. Para 75 e 100% de substituição, há aumento da porosidade, aumento da absorção de água e conseqüentemente redução do módulo de elasticidade. Outra justificativa plausível para a redução do MOE aos 75 e 100% de substituição, é a inibição

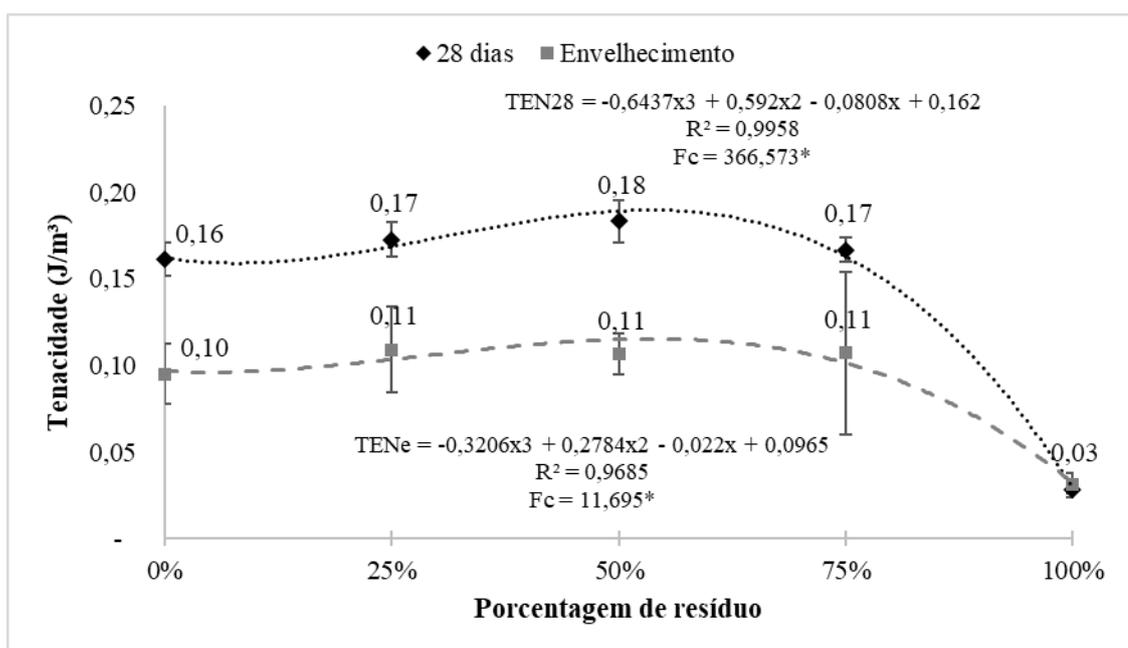
da cura da matriz cimentícia e a não sedimentação do material de substituição em seus vazios.

Zareei et al. (2019) em estudo da utilização do resíduo em concreto, observaram que a inclusão de resíduos cerâmicos reciclados teve influência positiva no módulo de elasticidade. Por exemplo, uma melhoria de 3% no módulo de elasticidade foi registrada na substituição de 40% dos agregados naturais pelo resíduo cerâmico. Da mesma forma, Zareei et al., (2019a), relataram um pequeno aumento no módulo de elasticidade do concreto contendo 50% resíduo como substituição na formulação controle. Anderson et al. (2016), relataram uma tendência crescente para o módulo de elasticidade das misturas de concreto com o aumento da taxa de substituição de agregados naturais pelo resíduo de cerâmica reciclável, o que foi atribuído ao aumento na quantidade de partículas angulares.

Abadou et al. (2016) observaram que o módulo de elasticidade, independentemente da idade do ensaio, aumentou com a maior incorporação de resíduos de piso e azulejos. Isso se deve à alta resistência à compressão e às partículas finas que ocupam os vazios entre os agregados. Assim, os compósitos tornam-se mais compactas e, conseqüentemente, o módulo de elasticidade aumenta.

Na Figura 8 são apresentados os valores de tenacidade para os fibrocimentos com a substituição do calcário pelo resíduo cerâmico obtidos no ensaio de flexão estática aos 28 dias de cura e após o envelhecimento acelerado, em diferentes concentrações.

Figura 8 - Tenacidade dos fibrocimentos com resíduos de cerâmica.



Fonte: Do autor.

* – Significativo ao nível de 5% de significância.

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

Observou-se que aos 28 dias, os tratamentos com 25 e 75% obtiveram um aumento de 6%, o tratamento com 50% de substituição, apresentou uma melhoria de 12,5% na tenacidade, para o tratamento com substituição total houve uma redução de aproximadamente 80% em comparação ao controle. Após o envelhecimento, quando comparado ao controle, percebe-se que houve um aumento de 10% na tenacidade dos compósitos em todos os tratamentos exceto na substituição de 100% que apresenta uma queda abrupta de 70%.

Os resíduos cerâmicos melhoraram a tenacidade dos compósitos. Aumentando a interação das fibras de celulose com a matriz cimentícia, que é dada pela maior tração do alongamento das fibras (BISHT; RAMANA, 2017; DE SOUZA KAZMIERCZAK et al., 2020). Podendo ser uma consequência das propriedades dos resíduos cerâmicos, que vem de sua natureza dura e sua grande resistência a forças de degradação química e física (ABADOU; MITICHE-KETTAB; GHRIEB, 2016). Podemos observar que até os 75% de substituição, o resíduo cerâmico aumenta a tenacidade dos compósitos, melhorando a interação da matriz cimentícia e da fibra celulósica. Para os 100% de substituição, o resíduo não melhora essa interação, podemos associar ao grande aumento da porosidade e o aumento da absorção de água, que além de influenciar na interação da fibra com a matriz, influenciam também diretamente na cura da matriz.

5 CONCLUSÃO

Com este estudo pode-se concluir que até 75% dos resíduos de pisos cerâmicos podem ser utilizados em substituição do calcário na produção de fibrocimento, esses resíduos proporcionaram melhorias nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade dos fibrocimentos extrudados, tomando um destino correto e sustentável e possibilitando a descoberta de novos materiais para o setor da construção civil.

Nas propriedades avaliadas o efeito da quantidade de resíduo utilizado sugere o uso de até 75% da substituição do calcário agrícola moído, para efeitos de otimização das

propriedades físicas e mecânicas do fibrocimento, atendendo aos padrões de comercialização.

Visto que o resíduo de piso cerâmico apresentou melhorias atrativas aos fibrocimentos, vale a pena ressaltar a necessidade de um entendimento melhor do comportamento dos resíduos de pisos cerâmicos utilizados em compósitos cimentícios, testando novas granulometrias e realizando uma investigação nas propriedades deste resíduo e como ele se comporta em variadas concentrações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Financiamento à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADOU, Y.; MITICHE-KETTAB, R.; GHRIEB, A. Ceramic waste influence on dune sand mortar performance. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 703–713, 30 out. 2016.

ABNT NBR 6120. Ações para o cálculo de estruturas de edificações. **ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 15, 2019.

AKHMETOV, D. et al. Effect of low-modulus polypropylene fiber on physical and mechanical properties of self-compacting concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, 1 jun. 2022.

AMIN, M.; TAYEH, B. A.; AGWA, I. S. Effect of using mineral admixtures and ceramic wastes as coarse aggregates on properties of ultrahigh-performance concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 123073, 10 nov. 2020.

ANDERSON, D. J.; SMITH, S. T.; AU, F. T. K. Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 117, p. 20–28, 1 ago. 2016.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber

reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 115–128, 15 mar. 2015.

AWOYERA, P. O. et al. Characterization of ceramic waste aggregate concrete. **HBRC Journal**, v. 14, n. 3, p. 282–287, dez. 2018.

BENTCHIKOU, M. et al. Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix. **Construction and Building Materials**, v. 34, p. 451–456, 1 set. 2012.

BEZERRA, E. M. et al. The effect of different mineral additions and synthetic fiber contents on properties of cement based composites. **Cem Concr Compos**, v. 28, n. 6, p. 555–563, jul. 2006.

BISHT, K.; RAMANA, P. V. Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. **Constr Build Mater**, v. 155, p. 811–817, 30 nov. 2017.

CAMARGO, M. M. et al. A Review on Natural Fiber-Reinforced Geopolymer and Cement-Based Composites. **Materials 2020, Vol. 13, Page 4603**, v. 13, n. 20, p. 4603, 16 out. 2020.

CARVALHO EUGÊNIO, T. M. et al. Study on the feasibility of using iron ore tailing (iot) on technological properties of concrete roof tiles. **Construction and Building Materials**, v. 279, p. 122484, 12 abr. 2021.

CHEN, M. C. et al. Research on Durability of Recycled Ceramic Powder Concrete. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 216, n. 1, 2 jul. 2017.

CORREIA, V. D. C. et al. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber–cement materials. **Constr. Build. Mater.**, v. 72, p. 65–71, 15 dez. 2014.

COUTTS, R. S. P. A review of Australian research into natural fibre cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 5, p. 518–526, 1 maio 2005.

DE ANDRADE SALGADO, F.; DE ANDRADE SILVA, F. Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 52, p. 104452, 15 jul. 2022.

DE LIMA, T. E. S. et al. Potential of Using Amazon Natural Fibers to Reinforce Cementitious Composites: A Review. **Polymers 2022, Vol. 14, Page 647**, v. 14, n. 3, p.

647, 8 fev. 2022.

DE SOUZA KAZMIERCZAK, C. et al. Rendering mortars with crumb rubber: mechanical strength, thermal and fire properties and durability behaviour. **Constr Build Mater**, v. 253, p. 119002, 30 ago. 2020.

DI MUNDO, R. et al. Water absorption in rubber-cement composites: 3D structure investigation by X-ray computed-tomography. **Construction and Building Materials**, v. 228, 20 dez. 2019.

ELÇI, H. Utilisation of crushed floor and wall tile wastes as aggregate in concrete production. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 742–752, 20 jan. 2016.

FARRAPO, C. L. et al. Cellulose associated with pet bottle waste in cement based composites. **Mater Res**, v. 20, n. 5, p. 1380–1387, 1 out. 2017.

FERRARA, L. et al. Effects of autogenous healing on the recovery of mechanical performance of High Performance Fibre Reinforced Cementitious Composites (HPFRCCs): Part 1. **Cement and Concrete Composites**, v. 83, p. 76–100, 1 out. 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Rev Bras Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529, 20 dez. 2019.

FILHO, J. N. S. et al. Technical and Environmental Feasibility of Interlocking Concrete Pavers with Iron Ore Tailings from Tailings Dams. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 9, set. 2017.

FILHO, N. T. D. A. et al. Mechanical resistance of lightweight cement composites utilizing industrial residues and fibers of sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 894–902, 2012.

FONSECA, C. S. et al. Eucalyptus cellulose micro/nanofibrils in extruded fibercement composites. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 59–68, 2016a.

FONSECA, C. S. et al. Micro/nanofibrilas celulósicas de eucalyptus em fibrocimentos extrudados. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 59–68, 1 jan. 2016b.

FONSECA, C. S. et al. Jute fibers and micro/nanofibrils as reinforcement in extruded fiber-cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 211, p. 517–527, 30 jun. 2019.

- FOTI, D.; CAVALLO, D. Mechanical behavior of concretes made with non-conventional organic origin calcareous aggregates. **Constr Build Mater**, v. 179, p. 100–106, 10 ago. 2018.
- HAN, B.; ZHANG, L.; OU, J. **Smart and multifunctional concrete toward sustainable infrastructures**. [s.l.] Springer Singapore, 2017.
- HANIF, A. et al. Early-age behavior of recycled aggregate concrete under steam curing regime. **J Clean Prod**, v. 152, p. 103–114, 20 maio 2017.
- HEIDARI, A.; TAVAKOLI, D. A study of the mechanical properties of ground ceramic powder concrete incorporating nano-SiO₂ particles. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 255–264, jan. 2013.
- HOSSEINPOURPIA, R. et al. Production of waste bio-fiber cement-based composites reinforced with nano-SiO₂ particles as a substitute for asbestos cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 105–111, 2012.
- HUANG, B. T. et al. Tensile fatigue behavior of fiber-reinforced cementitious material with high ductility: Experimental study and novel P-S-N model. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 349–359, 30 jul. 2018a.
- HUANG, L. et al. Carbon emission of global construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1906–1916, 1 jan. 2018b.
- HUSEIEN, G. F. et al. Effects of ceramic tile powder waste on properties of self-compacted alkali-activated concrete. **Construction and Building Materials**, v. 236, 10 mar. 2020.
- JAIN, P.; GUPTA, R.; CHAUDHARY, S. A literature review on the effect of using ceramic waste as supplementary cementitious material in cement composites on workability and compressive strength. **Materials Today: Proceedings**, 2022a.
- JAIN, P.; GUPTA, R.; CHAUDHARY, S. Comprehensive assessment of ceramic ETP sludge waste as a SCM for the production of concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 57, p. 104973, 1 out. 2022b.
- JIANG, D. et al. Effect of flame-retardant rice straw fibers on properties of fiber cement-based composites at high temperatures. **Journal of Building Engineering**, v. 44, n. July, p. 102923, 2021.

- JONES, M. et al. Waste-derived low-cost mycelium composite construction materials with improved fire safety. **Fire Mater**, v. 42, n. 7, p. 816–825, 1 nov. 2018.
- KANNAN, D. M. et al. High performance concrete incorporating ceramic waste powder as large partial replacement of Portland cement. **Construction and Building Materials**, v. 144, p. 35–41, 30 jul. 2017.
- KAZMI, S. M. S. et al. Effect of recycled aggregate treatment techniques on the durability of concrete: A comparative evaluation. **Construction and Building Materials**, v. 264, 20 dez. 2020.
- LE, H. B.; BUI, Q. B. Recycled aggregate concretes – A state-of-the-art from the microstructure to the structural performance. **Construction and Building Materials**, v. 257, 10 out. 2020.
- LEE, H. et al. Performance evaluation of concrete incorporating glass powder and glass sludge wastes as supplementary cementing material. **J Clean Prod**, v. 170, p. 683–693, 1 jan. 2018.
- LERTWATTANARUK, P.; SUNTIJITTO, A. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 664–669, 30 set. 2015.
- LIN, Y.; DU, H. Graphene reinforced cement composites: A review. **Construction and Building Materials**, v. 265, p. 120312, 2020.
- LONG, W. J. et al. Damping characteristics of PVA fiber-reinforced cementitious composite containing high-volume fly ash under frequency-temperature coupling effects. **Cement and Concrete Composites**, v. 118, 1 abr. 2021.
- LÓPEZ, V. et al. Eco-efficient Concretes: Impact of the Use of White Ceramic Powder on the Mechanical Properties of Concrete. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 4, p. 559–564, abr. 2007.
- LUHAR, I. et al. Assessment of the Suitability of Ceramic Waste in Geopolymer Composites: An Appraisal. **Materials 2021, Vol. 14, Page 3279**, v. 14, n. 12, p. 3279, 14 jun. 2021.
- MAGBOOL, H. M. Utilisation of ceramic waste aggregate and its effect on Eco-friendly concrete: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 47, 15 abr. 2022.

MÁRMOL, G.; SAVASTANO, H. Study of the degradation of non-conventional MgO-SiO₂ cement reinforced with lignocellulosic fibers. **Cement and Concrete Composites**, v. 80, p. 258–267, 1 jul. 2017.

MEENA, R. V. et al. Use of waste ceramics to produce sustainable concrete: A review. **Cleaner Materials**, v. 4, p. 100085, 1 jun. 2022.

MENDES, R. F. et al. Study of the use of polymeric waste as reinforcement for extruded fiber-cement. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 42737–42749, 2021a.

MENDES, R. F. et al. Study of new reinforcing materials for cementitious panel production. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 28, p. 37217–37230, 1 jul. 2021b.

MENDES, R. F. et al. Study of the use of polymeric waste as reinforcement for extruded fiber-cement. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 31, p. 42737–42749, 1 ago. 2021c.

MOLIN FILHO, R. G. D. et al. Characterization of different sugarcane bagasse ashes generated for preparation and application as green products in civil construction. **Clean Techn Environ Policy**, v. 21, n. 8, p. 1687–1698, 1 out. 2019.

MORTON, J. H.; COOKE, T.; AKERS, S. A. S. Performance of slash pine fibers in fiber cement products. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 2, p. 165–170, 1 fev. 2010.

O Fibrocimento – ANF. Disponível em: <<https://anf-br.org/o-fibrocimento/>>. Acesso em: 3 ago. 2022.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: a review. **Constr. Build. Mater.**, v. 25, n. 2, p. 575–581, fev. 2011.

PIÑA RAMÍREZ, C. et al. Analysis of the mechanical behaviour of the cement mortars with additives of mineral wool fibres from recycling of CDW. **Constr Build Mater**, v. 210, p. 56–62, 20 jun. 2019.

PITARCH, A. M. et al. Pozzolanic activity of tiles, bricks and ceramic sanitary-ware in eco-friendly Portland blended cements. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 10 jan. 2021.

RANACHOWSKI, Z. et al. Investigation of structural degradation of fiber cement boards due to thermal impact. **Materials (Basel)**, v. 16, n. 6, p. 944, 1 mar. 2019.

RASHID, K. et al. Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 829–840, 15 nov. 2017.

RAY, S. et al. Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 43, n. February, 2021.

SALGADO, F. DE A.; SILVA, F. DE A. Properties of recycled aggregates from different composition and its influence on concrete strength. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, n. 6, 2021.

SAMADI, M. et al. PROPERTIES OF MORTAR CONTAINING CERAMIC POWDER WASTE AS CEMENT REPLACEMENT. **Jurnal Teknologi**, v. 77, n. 12, p. 93–97, 17 nov. 2015.

SAVASTANO, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 3, p. 311–319, 1 abr. 2003.

SENTHAMARAI, R. M.; DEVADAS MANOHARAN, P. Concrete with ceramic waste aggregate. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 9–10, p. 910–913, 2005.

SIDDIKA, A. et al. Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. **Constr Build Mater**, v. 224, p. 711–731, 10 nov. 2019.

SIVAKUMAR, A. et al. Impact of waste ceramic tiles as partial replacement of fine and coarse aggregate in concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 61, p. 224–231, 2022.

SUCHITHRA, S.; SOWMIYA, M.; PAVITHRAN, T. Effect of ceramic tile waste on strength parameters of concrete-a review. **Materials Today: Proceedings**, v. 65, p. 975–982, 1 jan. 2022a.

SUCHITHRA, S.; SOWMIYA, M.; PAVITHRAN, T. Effect of ceramic tile waste on strength parameters of concrete-a review. **Materials Today: Proceedings**, 12 abr. 2022b.

TALAEI, M.; MOSTOFINEJAD, D. Mechanical properties of fiber-reinforced concrete

containing waste porcelain aggregates under elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 289, 28 jun. 2021.

TEIXEIRA, J. N. et al. Lignocellulosic Materials for Fiber Cement Production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 5, p. 2193–2200, 2020a.

TEIXEIRA, J. N. et al. Lignocellulosic Materials for Fiber Cement Production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 5, p. 2193–2200, 1 maio 2020b.

TOLÊDO ROMILDO D., F. D. et al. Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 2, p. 185–196, 1 fev. 2003.

VILAS MEENA, R. et al. “Impact of waste ceramic tile on resistance to fire and abrasion of self-compacting concrete”. **Materials Today: Proceedings**, v. 60, p. 167–172, 1 jan. 2022.

WEI, J.; MEYER, C. Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. **Cement and Concrete Research**, v. 73, p. 1–16, 1 jul. 2015.

YAO, X. et al. Graphene oxide-coated Poly(vinyl alcohol) fibers for enhanced fiber-reinforced cementitious composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, 1 out. 2019.

ZANELLI, C. et al. Waste recycling in ceramic tiles: a technological outlook. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, 1 maio 2021.

ZAREEI, S. A. et al. Recycled ceramic waste high strength concrete containing wollastonite particles and micro-silica: A comprehensive experimental study. **Construction and Building Materials**, v. 201, p. 11–32, 20 mar. 2019a.

ZAREEI, S. A. et al. Green high strength concrete containing recycled waste ceramic aggregates and waste carpet fibers: Mechanical, durability, and microstructural properties. **Journal of Building Engineering**, v. 26, 1 nov. 2019b.