

COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM ADIÇÃO DE AGREGADOS ARTIFICIAIS COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO NATURAL: REVISÃO

MELO, Cássia Vanessa Albuquerque de¹;

¹ Doutora, UFAL, Maceió-AL (cassiamelo@ctec.ufal.br).

Resumo. Agregados artificiais são, cotidianamente, assuntos debatidos em pesquisas científicas, devido ao interesse, cada vez maior, pela sustentabilidade, atrelada às inovações tecnológicas promovidas na área de ciência dos materiais, buscando utilizá-lo como substituto do agregado miúdo em misturas de concreto e argamassa. Essa inserção de diferentes agregados artificiais, considerados neste artigo como materiais reciclados (MR), vem se mostrando cada vez mais comum em pesquisas, que desenvolvem materiais inovadores, a partir de técnicas específicas de beneficiamento. O objetivo deste artigo consistiu em realizar um levantamento acerca do estado da arte da produção de concretos e argamassas com agregados miúdos artificiais como substituto da areia natural, como também analisar as propriedades mecânicas. Para isso, foi feita uma revisão da literatura, utilizando-se das plataformas Google Acadêmico, Capes e Web of Science, com data desde 2015, a fim de esclarecer a origem, as técnicas para a obtenção e as propostas de aplicação dos MR. Concluiu-se que a aplicação de distintos materiais reciclados tem apresentado, em geral, resultados satisfatórios, do ponto de vista econômico e desempenho mecânico, sendo fundamental que seja dado um enfoque maior nas técnicas para a obtenção de cada material para moldá-lo à aplicação que se destina, atendendo-se às normas técnicas.

Palavras-chave: Compósitos cimentícios, Substituição da areia, Reaproveitamento

1 INTRODUÇÃO

As reflexões voltadas ao desenvolvimento sustentável pelas grandes indústrias, pesquisadores, engenheiros e pela sociedade em geral, no tocante em suprir as necessidades atuais sem comprometer a capacidade de suprir as gerações futuras, têm sido notórias nas publicações cada vez mais crescentes na área de reciclagem de materiais. Tal fato vem sendo discutido em toda a cadeia produtiva da construção civil, a qual é responsável por uma maior parte do descarte desses materiais, geralmente de decomposição lenta, muitas vezes de forma errônea no meio ambiente (BARBOZA; PEREIRA, 2020; SILVA *et al.*, 2015). A destinação de resíduos sólidos é tratada na Lei federal nº 12.305 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual define como materiais, substâncias, objetos ou bens descartados, resultantes de atividades humanas.

Há problemas sérios com relação a extração irregular de areia de rios (*riverbed*), tais como o assoreamento, contaminação com óleo e graxa e desmatamento (SILVA *et al.*, 2016). É um cenário que tem preocupado os pesquisadores, motivando-os a estudar experimentos com materiais descartados da indústria mineral, da agricultura, das construções, aterro sanitário, entre outros. Os rejeitos minerais, especificamente, geram passivos ambientais, custos de manutenção e monitoramento (SILVA *et al.*, 2016).

Resíduos de diferentes tipos vêm sendo pesquisados e testados em concretos, adicionados em pequenas proporções, tais como resíduos agrícolas, como a cinza de casca de arroz, que contém alto teor de carbono (IACKS *et al.*, 2019), cinza do bagaço da cana-de-açúcar (MARTINS; ALTOÉ, 2015), fibras de bambu, utilizadas em compósitos poliméricos naturais (RIBEIRO *et al.*, 2021), entre outros. Ademais, muitos desses materiais alternativos, quando tratados adequadamente, chegam a apresentar composições semelhantes ao agregado natural.

Compósitos cimentícios reforçados por fibras ou por partículas grandes ou dispersas são temas de várias pesquisas nacionais e internacionais, pelo fato de contribuírem com melhores propriedades mecânicas. O concreto, por exemplo, é um dos insumos mais utilizados na construção civil e pensar em reduzir os custos com materiais reciclados de características granulométricas semelhantes ao agregado natural, tem se mostrado uma alternativa viável. No tocante as fibras, tem-se constatado o interesse pelo uso de fibras naturais em relação às fibras não naturais (AUERSVALDT *et al.*, 2019). É notório o interesse em desenvolver concretos sustentáveis, como concretos autoadensáveis, utilizando-se resíduos de pneus (BARBOZA; PEREIRA, 2020), reciclados de concreto em estudos de empacotamento de partículas (MELO, 2019) e pó de brita em concretos convencionais (SILVA *et al.*, 2015).

O presente artigo consiste em apresentar uma revisão crítica sobre diferentes materiais reciclados utilizados como alternativa para a substituição de areia natural, não renovável, por meio de estudos bibliográficos e normas técnicas, para a produção compósitos cimentícios.

2 METODOLOGIA

Sobre a temática em estudo, neste artigo desenvolveu-se uma minuciosa pesquisa, a fim de abordar as contribuições de pesquisadores professos na substituição do agregado miúdo, esclarecendo-se, também, a obtenção, granulometria, as propriedades, as adequações às normas técnicas e as propostas de aplicação dos materiais reciclados (MR) em compósitos cimentícios.

As etapas que constituíram a metodologia deste artigo foram: 1) seleção das publicações que tratassem da temática em questão, utilizando-se das plataformas Google Acadêmico, Periódicos da Capes e *Web of Science*, levando-se em consideração as pesquisas publicadas

desde 2015; 2) critério de busca: “substituição de areia no concreto” e “substituição de areia na argamassa”; 3) leitura na íntegra dos trabalhos selecionados; 4) parâmetros estudados relativos às propriedades físicas e mecânicas dos compósitos cimentícios; 5) análise dos conteúdos e informações: materiais reciclados e materiais obtidos, proporção utilizada, aplicação, método de dosagem, parâmetros estudados, autores e ano de publicação.

Destarte, este artigo buscar identificar as particularidades de cada material aproveitado como agregado miúdo, como a sua caracterização granulométrica, e sua influência nas propriedades mecânicas de compósitos como produto final.

2.1 Resultados

As principais discussões abordadas nas publicações são as propriedades mecânicas, como se sabe a resistência à compressão, e demais propriedades não menos importantes como a resistência à tração, absorção e o módulo de elasticidade. As plataformas mostraram os seguintes resultados: 799 (Google Acadêmico), 90 (Periódico da Capes) e 21 (*Web of Science*). Posteriormente, alterando o critério de busca para “substituição de areia na argamassa”, os resultados foram: 766 (Google Acadêmico) e 53 (Periódico da Capes) e 22 (*Web of Science*).

Nessa apresentação sintetizada das pesquisas selecionadas, percebe-se que a construção civil tem evoluído na substituição do agregado miúdo, principalmente a indústria de artefatos, sendo de suma relevância para o setor, haja vista o elevado consumo de cimento utilizado na produção de blocos de concreto (195x95x8mm) para pavimentação que, segundo estudos de MARTINS & ALTOÉ (2015), correspondeu a 437 kg/m³, adicionando nas suas misturas a cinza de bagaço de cana-de-açúcar. Neste mesmo setor, ALVES *et al.* (2021) constataram a viabilidade do uso da cinza do pó de seringa de polipropileno. Já o consumo de cimento utilizado no concreto autoadensável estudado por BARBOZA & PEREIRA (2020) foi de 434 kg/m³.

Dentre as pesquisas analisadas, em termos de método de dosagem, não foi identificada essa informação em todos os trabalhos. Vale ressaltar a não existência de métodos de dosagem padronizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Identificou-se que o método ABCP –ACI e o IPT/EPUSP foram os mais abordados. O primeiro foi desenvolvido pelo Instituto Americano do Concreto (ACI) e adaptado, no Brasil, pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). O segundo foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica da USP, adaptado por Helene e Terzian (1992).

Com a adição da cinza do pó de seringa, ALVES *et al.* (2021) obtiveram bons resultados de resistência à compressão aos 28 dias, com teores de 10% (23,82 MPa) e de 15% (28,28 MPa). Por outro lado, os valores foram menores do que nos corpos-de-prova (cp) de referência (31,98 MPa). Verificaram que ao contrário dos cp com teor de 10%, o aumento para 15% fez com que o índice de vazios e a absorção dos blocos tornassem superiores. Devido a isso, foram indicados para pavimentação de passeios públicos, ciclovias ou calçadas ecológicas.

No estudo de RIBEIRO *et al.* (2021), primeiramente, definiu-se o traço do concreto de referência pelo método de dosagem ABCP –ACI e, posteriormente, a composição foi alterada com a substituição das proporções de 2% e 5% em volume, de fibra de bambu. No que se refere a estabilidade dimensional do material, esta propriedade não foi afetada ao incluir as fibras no concreto, provavelmente devido ao pequeno volume das fibras. O atrito promovido entre os grãos de areia e cimento, juntamente com os resíduos de fibras de bambu tiveram a tendência de se elevar com a substituição das fibras, promovendo a perda da continuidade da fibra e, com isso, provocando a diminuição da resistência à compressão do concreto. A atenção desses autores foi voltada a trabalhabilidade do concreto, que no caso em questão não houve alteração.

Como recomendação, a vibração do concreto não foi recomendada devido a possibilidade de produzir tanto uma distribuição não uniforme quanto um alinhamento preferencial das fibras. Conforme esses autores, o comparativo entre os resultados de resistência à compressão aos 14 dias para os teores de 2% e 5% de cinzas de bambu, mostrou um pequeno crescimento (2%, 28,76 MPa; e 5%, 29,01 MPa) e aos 28 dias (2%, 32,9 MPa; e 5%, 32,4 MPa). Quanto ao módulo de elasticidade aos 14 dias (2%, 30,3 GPa; e 5%, 30,16 GPa) e aos 28 dias (2%, 30,16 GPa; e 5%, 32,36 GPa) não houve alteração significativa para os concretos com as substituições de fibras de bambu.

A análise das propriedades de bloco de concreto intertravado, tais como resistência à compressão, absorção e índice de vazios de bloco de concreto, utilizando-se o resíduo de cinza casca de arroz como parte do agregado miúdo, também foi realizada por IACKS *et al.* (2019). Estes autores ressaltaram que a cinza utilizada possuía característica higroscópica. Resultados satisfatórios foram identificados com 5% de cinzas: $f_{ck} = 29,4$ MPa aos 28 dias (quando o valor mínimo admitido por norma é de 25 MPa), porém não atingiu o valor previsto de 35 MPa (NBR9781: 2013), enquanto que, com 10% do resíduo, obteve-se 16,14 MPa. Quanto a absorção dos blocos, os valores foram reduzidos para o teor de 5% de cinzas, 5,71% (a norma admite até 6%), contra 15,95% de absorção para o teor de 10%; já o índice de vazios com 5% de cinzas foi de 23%, menor que com 10% de cinzas (28%), sendo valores inferiores ao concreto sem cinzas. Como sugestão, os autores concluíram que 5% de material de substituição da areia pode ser usado em blocos para locais de tráfego leve, tais como praças e rodovias.

O método IPT/EPUSP, adaptado por Helene e Terzian (192), foi adotado por MARTINS & ALTOÉ (2015) para produção do concreto aplicado na confecção de *pavers*. O traço do concreto foi 1:4, com fator a/c de 0,42. Os melhores resultados de resistência à compressão foram com uma maior proporção (25%) de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, aos 7 dias (34,2 MPa) e aos 28 dias (39,09 MPa), limite máximo de 35 MPa, segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013). Tal resultado foi reflexo da baixa porosidade do concreto, sendo indicativo de um concreto mais denso, e da menor absorção de água (valores menores que 6%) dos blocos aos 28 dias, com o aumento do teor do resíduo. Em relação à resistência à abrasão aos 28 dias, os blocos não apresentaram resultados com grandes variações, nem influência negativa.

SILVA *et al.* (2016) adotaram também o método de dosagem ABCP –ACI para o estudo da formulação do concreto com rejeitos finos de magnetita, oriundos do beneficiamento de rochas fosfáticas. Um fato interessante que ocorreu na resistência à compressão dos corpos-de-prova foi a obtenção de melhores resultados com a substituição da areia pela magnetita.

No estudo de concreto convencional com o uso de pó de brita, SILVA *et al.* (2015) também utilizou o método ABCP na formulação de traços com 32% de areia natural média com 68% de pó de brita, mantendo-se fixos o teor de argamassa e a quantidade de cimento. Os autores constataram que os resultados de trabalhabilidade e resistência dos concretos tiveram influência dos finos (partículas menores que 0,075 mm) nas composições que continham pó de brita, como também da maior proporção de agregado graúdo. Os resultados mostraram-se satisfatórios, alcançando o f_{ck} de 20 MPa, observando-se melhores resultados nas misturas com aditivo plastificante, devido a redução do fator a/c do concreto sem perda da trabalhabilidade. A comparação de finos mostrou 9,29% de finos no pó de brita contra 7,25% na areia.

GRAUPMANN *et al.* (2019), em estudos com cinza de aterro sanitário, constataram que os resultados de resistência à compressão, também apresentaram bom desempenho com a substituição de 5% de cinza. Falando de microestrutura do concreto, a contribuição da maior substituição desse resíduo promoveu, também, maior ocorrência de cristais de silicatos de cálcio hidratado (C-S-H) na matriz cimentícia, fator responsável pela maior resistência à

compressão do concreto. Houve o crescimento de substâncias cristalinas e amorfas de carbonatos e a formação de C-S-H, um aglutinante entre as partículas sólidas do concreto.

Certas propriedades físicas variam consideravelmente nos materiais reciclados quando submetidos à trituração, uma delas é a massa específica. A respeito disso, não se pode desconsiderar tal particularidade na definição do traço de misturas de concreto e argamassa. A fibra de bambu da espécie *Bambusa Vulgaris*, por exemplo, conforme RIBEIRO *et al.* (2021), possuiu valores crescentes de massa específica, das camadas internas para as externas dos colmos do bambu, em todas as alturas, variando de 0,43 a 0,76 g/cm³.

De modo a se tornar viável o uso de fibras naturais, procedimentos de obtenção de suas cinzas são assuntos que vem sendo pesquisados, como mostra a literatura, para obter o controle da temperatura de queima. MARTINS & ALTOÉ (2015) declararam que fica em torno de 400°C a 900°C para cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. A moagem, segundo esses autores, é outro fator determinante para que essas cinzas adquiram não apenas um efeito filler, mas também atividade pozolânica, podendo substituir também o cimento.

Com o interesse em avaliar a viabilidade do emprego de resíduos de pneus de borracha, como substituição parcial de 5% da areia natural por esse resíduo obtido nas peneiras de malha #40 e #10, os autores BARBOZA & PEREIRA (2020) investigaram as propriedades do concreto autoadensável desde a caracterização dos materiais. O método de dosagem utilizado foi o de Gomes (2002). Analisando-se as propriedades do concreto fresco, observou-se que a fluidez do CAA, contendo resíduos retidos na malha #10 mm, foi maior do que dos grãos retidos na peneira de malha #40. Em termos gerais, o atendimento da autoadensabilidade foi satisfatório. No quesito resistência à compressão, os resultados apresentaram valores superiores ao mínimo, 20 MPa, atendendo às recomendações da ABNT. Vale ressaltar que utilizou a sílica ativa nas misturas e, devido ao baixo módulo de elasticidade do resíduo de borracha e a razoável granulometria deste resíduo, os valores das resistências à compressão foram reduzidos, atribuída a baixa aderência da pasta de cimento e a borracha. Entretanto, os valores foram superiores a 60 MPa aos 28 dias. Os valores de resistência à tração sofreram redução em relação ao concreto de referência (valores acima de 4 MPa). A verificação da aproximação dos módulos de elasticidades dinâmicos das misturas contendo resíduo de pneus de borracha comprovaram que a maior quantidade de finos do resíduo influenciou nos baixos módulos de elasticidade.

Quanto a granulometria e ao módulo de finura (MF) dos agregados miúdos utilizados nas misturas, ambos têm um papel significativo nas propriedades do concreto fresco e endurecido, haja vista a influência de frações granulométricas predominantes. Os autores RIBEIRO *et al.* (2021) afirmaram que a areia média utilizada (MF=2,81) apresentou uma maior massa retida de grãos na peneira de abertura 0,30 mm. Já para o resíduo de fibra de bambu, MF foi de 2,76 e obteve maior porcentagem de material retido na peneira de abertura 0,15 mm. Os autores IACKS *et al.* (2019) afirmaram ter usado agregado miúdo de resíduo de cinza casca de arroz com MF de 2,5. De forma semelhante, MARTINS & ALTOÉ (2015) declararam que, pelas características físicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, muito se aproximou da areia média, apresentando massa específica de 2,66 g/cm³ e com mais de 50% dessa cinza retida na peneira de abertura de 0,20 mm; entretanto, o teor de umidade foi de 6,1%. SILVA *et al.* (2016) também afirmaram que a composição dos finos da magnetita foi elaborada para que se aproximasse da areia. Também houve compatibilidade entre as granulometrias da areia média (MF=2,75) e a cinza de aterro sanitário (MF=2,17) nos estudos de GRAUPMANN *et al.* (2019).

No aspecto da aproximação granulométrica do material substituído parcialmente pela areia natural, BARBOZA & PEREIRA (2020) classificaram os resíduos de borracha em grosso (#10)

e fina (#40), com dimensão máxima característica de 4,8mm e 2,4 mm, respectivamente. Nessa observância, o estudo da granulometria tornou-se fundamental no comparativo dos resultados obtidos das propriedades mecânicas analisadas com relatos de outros autores encontrados na literatura, constatando que a melhor distribuição granulométrica obtida com grãos menores está associada ao melhor preenchimento dos poros do concreto.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo mostra que a tendência do uso de materiais reciclados incorporados a compósitos cimentícios se dá devido a sua aplicação provecta, contribuindo para mitigação de impactos ambientais, além do fomento à pesquisa sobre a viabilidade da obtenção e aplicação de materiais sustentáveis em elementos construtivos. Dada a importância da proximidade da composição granulométrica dos materiais reciclados, constatou-se as observâncias sobre o módulo de finura, concentração de materiais retidos em peneiras, as influências na absorção e porosidade dos compósitos cimentícios e sua microestrutura. No geral, no que diz respeito às propriedades mecânicas, os estudos compartilham da necessidade de estudos de durabilidade. Como sugestão de estudos, é interessante que seja pesquisado o estado da arte da indústria de mineração e a aplicação de fibras naturais quanto aos coprodutos obtidos.

REFERÊNCIAS

- Auersvaldt, B. L., Lay, L. A., & Miranda, T. L., 2019. Incorporação de fibras vegetais de bambu ao concreto em substituição às fibras Sintéticas. **IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, ConBRepro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação, 2013.
- Alves, A. L., do Nascimento, B. P., Godoy, G. D. L. Z., de Andrade Silva, J. V. M., & Junior, W. B. T., 2021. Estudo das propriedades mecânicas de compósitos obtidos através da incorporação de seringas trituradas em pavers de concreto. **Brazilian Journal of Development**, 7(6), 59404-59426.
- Barboza, L. da S.; Pereira, P. D. de O., 2020. Análise da substituição parcial da areia por resíduos de borracha de pneu no concreto autoadensável. **Revista Tecnológica**, 29(2), 382-397.
- Brasil. Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/lei-no-12-305-de-2-de-agosto-de-2010.pdf/view>, Acesso em 09/08/2022.
- Jacks, J. A., Oliveira, L. J., Padilha, S. A., & Gonçalves, M. R. F., 2019. Propriedades tecnológicas de blocos de concreto com cinza de casca de arroz destinados a pavimentos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, 6(1).
- Martins, C. H., & Altoé, S. P. S., 2015. Avaliação da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar na confecção de blocos de concreto para pavimentação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 8, 39-54.
- Melo, C. V. A. de (2019) **Avaliação e determinação de parâmetros para otimização de esqueleto granular em atendimento à autoadensabilidade concretos**. Tese (Doutorado em Materiais). UFAL, 246f.
- Graupmann, O., Martins, M. A., Consul, M., & Cechin, L., 2019. Análise da resistência à compressão de concretos com adição de cinza de aterro sanitário. **Matéria** (Rio de Janeiro), 24.
- Silva, A. C., Mendes, M. V. A., & Silva, E. M. S., 2016. Substituição de areia por magnetita na formulação do concreto. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, 13(3), 265-269.
- Silva, L.; Demetrio, J., Demetrio, F., 2015. Concreto Sustentável: Substituição da areia natural por pó de brita para confecção de concreto simples. *Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, São Luís–MA*.
- Ribeiro, L. H; Werdine, D., Barbosa, L. F., Oliveira, A. F., Barbosa, A. M. & Silva, L. R. R., 2021. Investigação das propriedades físicas e mecânicas do concreto convencional com substituição parcial da areia pelas fibras de bambu. **Research, Society and Development**, 10(13), e268101321092-e268101321092.