AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE DESEMPENHO TÉRMICO EM BIOCONCRETO COM A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA

PERFORMANCE EVALUATION OF THERMAL BEHAVIOR IN VERTICAL SEALING SYSTEMS INCORPORATING WOOD WASTE

Fabrício Pimentel Gaspar da Silva[1]; Reila Vargas Velasco[2]; Thiago Melo Grabois[3].

[1]Mestre | fabricio.silva@fau.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil;
[2]Doutora | reila@fau.ufrj.br | | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil;
[3]Doutor | grabois@fau.ufrj.br | | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo:
O impacto ambiental gerado pela construção civil e a busca por eficiência energética tem impulsionado pesquisas no sentido de soluções para a redução da demanda energética. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo investigar como diferentes frações de serragem influenciam as propriedades mecânicas, físicas e térmicas do bioconcreto. O processo incluiu: caracterização dos materiais, moldagem das misturas, análise mecânica e física (compressão, absorção, massa específica e índice de vazios), produção de painéis com diferentes frações de serragem e caracterização térmica dos bioconcretos, com a utilização de uma câmara térmica e sensores de temperatura, onde uma das faces laterais de cada painel foi submetida à ação do calor por meio de um módulo de aquecimento. Os resultados mostraram que a adição de serragem reduziu a resistência à compressão, especialmente em maiores teores do resíduo. A mistura com 15% de serragem teve a maior resistência, atingindo 33 MPa após 28 dias de cura, enquanto a mistura com 45% teve resistência menor. A absorção de água e o índice de vazios aumentaram, indicando maior porosidade e retenção hídrica. Termicamente, as misturas com mais serragem apresentaram melhor capacidade isolante, favorecendo o controle térmico.

Palavras-chave:
Engenharia dos materiais; Desempenho Termoenergético; Painéis de Vedação Vertical; Serragem.

Abstract:
The environmental impact caused by the construction industry and the pursuit of energy efficiency have driven research aimed at finding solutions to reduce energy demand. In this context, the present study aimed to investigate how different fractions of sawdust influence the mechanical, physical, and thermal properties of bioconcrete. The process included: material characterization, mixing and molding, mechanical and physical analyses (compression strength, water absorption, specific mass, and void ratio), production of panels with varying sawdust content, and thermal characterization of the bioconcretes using a thermal chamber and temperature sensors, where one side of each panel was exposed to heat through a heating module. The results showed that the addition of sawdust reduced compressive strength, especially at higher residue contents. The mixture with 15% sawdust had the highest strength, reaching 33 MPa after 28 days of curing, while the mixture with 45% had lower strength. Water absorption and void index increased, indicating higher porosity and water retention. Thermally, the mixtures with higher sawdust content exhibited better insulating capacity, contributing to improved thermal control.

Keywords:
Material Engineering; Thermo-Energetic Performance; Vertical Sealing Panels; Sawdust.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 40 anos, o aumento da população urbana mundial tem gerado uma quantidade crescente de resíduos sólidos, com estimativas de que, até 2100, cerca de 10,2 bilhões de pessoas habitarão as cidades. Esse aumento está ligado ao consumo excessivo, com impacto direto no meio ambiente, principalmente no setor da construção civil, responsável por grande parte desses resíduos. Quando não gerenciados corretamente, esses resíduos podem contaminar o solo e a água, além de ocupar grande espaço nos aterros sanitários.

Dentre os diversos tipos de resíduos, os de madeira se destacam como uma alternativa promissora quando incorporados ao concreto, por estarem alinhados aos princípios da economia circular e da sustentabilidade ambiental. Por se tratar de um recurso renovável, a madeira, ao ser utilizada na forma de resíduo em misturas cimentícias, pode contribuir para a melhoria do desempenho térmico, importante ao considerar uma possível aplicação em elementos de vedação das edificações (Guimarães *et al.*, 2024). Além disso, o aproveitamento desses resíduos na produção de bioconcretos pode reduzir significativamente o volume de descarte em aterros, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado.

O estudo e o entendimento do comportamento dos bioconcretos frente ao seu comportamento térmico pode ser um aliado às normas e regulamentos para melhorar a eficiência energética das edificações, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e a NBR 15575, que visam reduzir o consumo de energia e melhorar o desempenho térmico dos edifícios (Lamberts, Dutra, Pereira, 2014).

Neste contexto a arquitetura assume um importante papel na tomada de decisões de projetos que atendam a demanda de sustentabilidade. É fundamental adotar soluções inovadoras e sustentáveis, considerando as questões energéticas desde a concepção do projeto arquitetônico. O desempenho térmico de uma edificação está relacionado às condições climáticas locais, e um baixo desempenho pode resultar no aumento do consumo de energia para manter o conforto. Conhecer o desempenho de uma edificação é importante para estimar seu consumo energético e os impactos ambientais (Almeida, 2019; Berleza, 2022; Peres, 2024).

E no setor da construção civil, a adoção de práticas sustentáveis, como o uso de materiais reciclados e maior eficiência energética, é essencial para reduzir os impactos ambientais e construir um futuro mais equilibrado. Assim, o desenvolvimento de bioconcretos, utilizando resíduos de madeira, é uma solução inovadora que contribui para a sustentabilidade e oferece novas possibilidades para a construção civil (Oliveira *et al.*, 2023; Guimarães *et al.*, 2024). Embora a literatura apresente alguns trabalhos que abordam o uso do resíduo de madeira em materiais cimentícios (Gloria, 2015), a variedade da forma e granulometria do resíduo acaba gerando a necessidade de mais estudos na área para melhor entendimento do seu comportamento e método de aplicação.

Este artigo investiga a viabilidade técnica da incorporação de diferentes frações volumétricas de serragem proveniente de madeira beneficiada, avaliando a sua influência e impacto no comportamento físico, mecânico e térmico dos bioconcretos.

Este estudo, ao investigar o uso de resíduos de madeira na fabricação de bioconcretos, contribui para o desenvolvimento de materiais de construção mais ecológicos e eficientes, ajudando a tornar a construção civil mais sustentável e resiliente no futuro. A viabilidade técnica e econômica dos bioconcretos dependerá não apenas de suas propriedades, mas também da aceitação no mercado e do apoio de políticas públicas que incentivem o uso de materiais sustentáveis. A colaboração entre pesquisa científica, indústria e governo é notável para tornar essas soluções viáveis e competitivas no mercado da construção civil (Almeida, 2019; Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

2. MÉTODOS

2.1. MATERIAIS E PRODUÇÃO DOS BIOCONCRETOS

Os materiais utilizados na produção do bioconcreto foram os seguintes: cimento CPVARI-RS, com massa específica de 2950 kg/m³, agregado leve do tipo serragem de madeira, caracterizada como serragem “lasca”, com dimensão máxima característica acima de 1,18 mm, massa específica e absorção iguais a 433kg/m³, 71%, respectivamente. O agente modificador de viscosidade utilizado foi o Rheomac VMA538 com teor de 0,1% em relação à massa de cimento. O superplastificante utilizado foi o Glenium 51, do tipo éter policarboxílico, fabricado pela empresa BASF. O cloreto de cálcio puríssimo anidro ($CaCl_2$) foi utilizado com um teor de 3% em relação à massa de cimento. Por fim a água utilizada é proveniente da rede de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro.

A caracterização dos materiais e a dosagem do bioconcreto referência foram baseadas nas literaturas consultadas, com destaque para os estudos de Gloria (2015). Para a produção dos bioconcretos, foram consideradas cinco variações volumétricas de serragem: 15%, 25%, 35%, 45% e 55%, correspondendo às relações cimento/madeira de 26,03, 10,97, 6,05, 3,55 e 1,99, respectivamente. O fator água/cimento utilizado para as produções dos bioconcretos foi de 0,25.

Com base nesse resultado, adotaram-se os critérios da norma ABNT NBR 6136:2016 (ABNT, 2016), estabelecendo uma resistência mínima entre 2 MPa e 4 MPa. Assim, as misturas dos bioconcretos foram dosadas para atingir no mínimo essa faixa de resistência. As misturas foram denominadas de acordo com a fração volumétrica de serragem, com a nomenclatura "BCS", seguida do valor da fração volumétrica, como ilustrado na Tabela 1, onde BCS15 representa o bioconcreto com 15% de serragem.

Bioconcretos	Serragem	Cimento	Água	Água de compensação	VMA	Aditivo	CaCl2
BCS15	51,09	1330,07	332,68	35,76	1,33	4,44	39,92
BCS25	106,24	1165,33	291,55	74,37	1,17	3,88	34,96
BCS35	152,92	925,74	231,34	107,04	0,92	3,09	27,76
BCS45	196,76	699,21	174,80	137,77	0,70	2,33	20,97
BCS55	238,15	475,62	134,75	166,71	0,48	1,59	14,25

Tabela 1: Dosagem dos bioconcretos em kg/m³.
Fonte: Os autores (2025).

A produção dos bioconcretos foi feita em sala climatizada a 21°C ± 1°C, com a utilização de uma betoneira com capacidade de trabalho de com capacidade de 150L para as misturas de 15%, 25% e uma betoneira com capacidade de 400L para as misturas de 35%, 45% e 55%.

Antes da moldagem a serragem foi pesada, saturada em água por 24h para evitar a absorção da água de hidratação da mistura. Em seguida a serragem passou pelo processo de secagem, até o estado saturado superficialmente seco.

O procedimento de mistura utilizado na produção dos bioconcretos iniciou-se com a mistura prévia da água e do cloreto de cálcio em um recipiente separado. Em seguida, o cimento, a serragem e metade da água foram lançados na betoneira, sendo misturados por 1 minuto para iniciar as primeiras reações entre o cimento, a água e o acelerador de pega. Após esse processo, houve uma parada de 30 segundos para retirada de cimento retido na betoneira. A mistura foi continuada por mais 5 minutos. Em seguida, o restante da água, o agente modificador de viscosidade e o superplastificante foram adicionados, e a mistura foi realizada por 5 minutos adicionais. Outra parada de 30 segundos foi feita para a retirada de material retido na betoneira, e, finalmente, a mistura foi concluída com mais 1 minuto de homogeneização. O tempo total do procedimento de mistura foi de 13 minutos. O adensamento do bioconcreto foi realizado em mesa vibratória e em seguida foi feita a moldagem dos corpos de prova para a realização dos ensaios mecânicos e

físicos. Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas, identificados e transferidos para um tanque de cura com cal dissolvida, onde foram mantidos até o momento de realização dos ensaios.

2.2. CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA, FÍSICA E MECÂNICA

A caracterização no estado fresco foi realizada por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone, cujo objetivo é avaliar a consistência e fluidez do material produzido, conforme a norma ABNT NBR 16889:2020 (ABNT, 2020), que consiste em preencher um molde metálico em forma de tronco de cone com concreto fresco, em três camadas adensadas com golpes de soquete. Após a retirada vertical do molde, mede-se a diferença entre sua altura e a do concreto abatido, obtendo-se o valor do abatimento, que indica a consistência e trabalhabilidade do material.

No estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão e massa específica. Os ensaios de resistência à compressão foram conduzidos em corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, utilizando uma prensa hidráulica servocontrolada, com controle de deformação a uma taxa de 0,025 mm/min. Os bioconcretos foram avaliados em duas idades: 3, 7 e 28 dias.

O ensaio de massa específica foi realizado de acordo com a ABNT NBR 9778:2005 (ABNT, 2005), e englobou as seguintes etapas: secagem dos corpos de prova em estufa, saturação em água, fervura por 5 horas, seguido de resfriamento, obtendo-se o peso em estado “saturado superfície seca” e, finalmente, em condição submersa, com o auxílio de balança hidrostática.

2.3. CARACTERIZAÇÃO TÉRMICAS

Os ensaios térmicos foram feitos em três painéis de bioconcreto com diferentes frações volumétricas de resíduo de madeira (35%, 45% e 55%). Os painéis possuem dimensões de 0,80 x 0,60 x 0,10 m e foi moldado em três camadas, com o uso do martelo de borracha na parte exterior da fôrma. O uso de espaçadores foi essencial para assegurar o correto posicionamento das armaduras nas fôrmas. Após a moldagem, os painéis permaneceram em cura por aproximadamente dois dias antes de serem desformados para a realização dos ensaios térmicos.

Para a obtenção desses painéis foram produzidas fôrmas utilizando placas de compensado naval, nas quais foram fixados pregos nas suas bases para garantir que o painel produzido e a base da fôrma formassem um único conjunto. Esse conjunto foi posicionado sobre um suporte com rodízio, integrado à base da câmara térmica, permitindo a movimentação fácil dos painéis para o interior da câmara e garantindo sua estabilidade. Dentro da fôrma, foi inserida uma armadura mínima conforme as especificações da NBR 16055 (ABNT, 2022).

O ensaio térmico foi conduzido em uma câmara térmica projetada por Almeida (2019), com base nas diretrizes de Souza (2017). A câmara, com dimensões de 1,42 x 1,04 x 0,90 m, foi construída com placas de compensado naval e isolada com placas de poliestireno expandido (EPS) de alta densidade, com 10 cm de espessura. A câmara foi dividida em três partes principais: o suporte com rodízio dos painéis, a câmara em si, com compartimentos distintos, e o módulo de aquecimento. Duas aberturas laterais, de 1 cm de diâmetro, foram feitas para a passagem dos sensores de temperatura durante as medições.

O módulo de aquecimento foi acoplado lateralmente à câmara, sendo também feito de compensado naval e revestido internamente com folhas de papel alumínio para distribuir o calor de forma uniforme. Esse módulo pode acomodar até 12 lâmpadas halógenas, divididas em 4 circuitos controlados por dimmers. No ensaio, foram usadas duas lâmpadas halógenas de 70W, posicionadas a 65 cm de distância do painel de teste.

O suporte com rodízio, posicionado na parte central da câmara, funciona como uma divisória, separando a câmara em dois ambientes distintos: um simulando o meio externo, onde se localiza o módulo de aquecimento, e o outro simulando o ambiente interno de uma edificação. A base do suporte foi composta por placas de compensado naval, EPS e rodízios, garantindo a manutenção da altura relativa entre os compartimentos da câmara.

Durante os ensaios, os painéis foram expostos ao calor gerado pelas lâmpadas do módulo de aquecimento. Para monitorar as condições térmicas, foram usados três sensores de temperatura em cada face dos painéis, além de sensores de temperatura do ar ambiente, localizados nos dois setores internos da câmara e no ambiente externo à câmara (Figura 1). Inicialmente, a câmara foi mantida fechada e com o módulo de aquecimento desligado durante os primeiros 15 minutos, para registrar o equilíbrio térmico inicial. Após esse período, o módulo de aquecimento foi ativado e as lâmpadas mantidas acesas por 7 horas. Após esse tempo, o aquecimento foi desligado, e o experimento continuou por mais cerca de 3 horas, para observar o processo de resfriamento da câmara.

A coleta de dados de temperatura foi realizada por meio de um condicionador de sinais, e uma câmera termográfica foi utilizada para registrar a temperatura e a distribuição do calor na superfície do painel, além de verificar as trocas de calor entre a câmara e o ambiente externo. Todos os experimentos foram conduzidos em um ambiente climatizado com ar condicionado ligado para manter a estabilidade das condições experimentais.

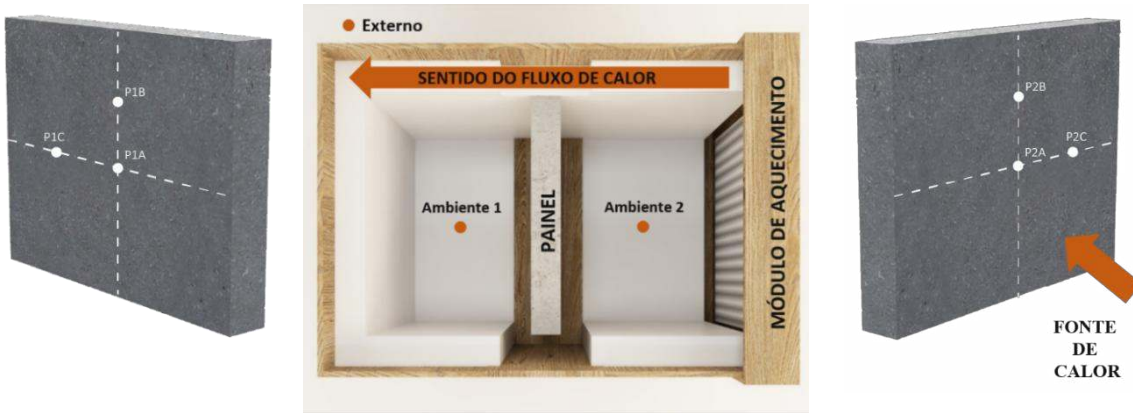

Figura 1: Compartimentos da câmara: (a), Suporte com rodízio dos painéis, (b) Câmara, (c) Módulo de aquecimento.
Fonte: Os autores (2025).

3. RESULTADOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA, FÍSICA E MECÂNICA

Com o aumento da fração volumétrica de serragem nas misturas, observou-se uma redução progressiva no abatimento. Dessa forma, a mistura BCS15 apresentou o maior valor de abatimento, com 130 mm. À medida que a quantidade de serragem aumentava, o abatimento foi diminuindo: a mistura BCS25 apresentou 90 mm, a mistura BCS35 teve 65 mm, a mistura BCS45 apresentou 40 mm e, por fim, a mistura BCS55 teve um abatimento de 13 mm. Esse comportamento ocorre devido às características da serragem, que dificultam a fluidez da mistura por conta do formato irregular das partículas e da dificuldade de aderência com a pasta de cimento, especialmente em maiores teores, resultando em menor abatimento.

No que se refere a análise mecânica a Tabela 2 apresenta o valor médio da resistência à compressão (fc), juntamente com os respectivos valores do coeficiente de variação (CV) dos bioconcretos avaliados. Os valores de resistência à compressão foram determinados nas idades de 3, 7 e 28 dias.

Bioconcretos	3 dias		7 dias		28 dias	
	fc	CV	fc	CV	fc	CV
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
BCS15	33,78	1,61	32,87	0,91	33,02	2,67
BCS25	28,79	0,35	30,86	1,10	29,16	1,46
BCS35	20,15	0,67	23,39	0,81	20,24	0,96
BCS45	5,35	0,10	7,73	0,30	8,48	0,97

Tabela 2: Resultados das resistências dos bioconcretos nas diferentes idades de ensaio.
Fonte: Os autores (2025).

Para a idade de 3 dias, a mistura com 15% de serragem (BCS15) apresentou a maior resistência, com cerca de 33 MPa, enquanto as misturas com 25%, 35% e 45% de serragem apresentaram reduções progressivas, variando de 28 MPa a 5 MPa. Aos 7 dias, a mistura BCS45 teve uma redução de 77% na resistência em relação à mistura BCS15, e aos 28 dias, a redução foi de 74%. Essa queda na resistência é atribuída à menor quantidade de cimento nas misturas com maior teor de serragem, o que prejudica a hidratação e a formação do gel de C-S-H, essencial para a resistência. A mistura com 55% de serragem não foi testada, pois se desfez sob carga devido à alta proporção de serragem, comprometendo a coesão do bioconcreto. Embora o aumento do teor de serragem acarrete reduções nos valores de resistência à compressão e a depender do teor em níveis significativos, ainda assim a substituição de agregados por serragem pode ser uma alternativa a ser considerada, desde que respeitado o limite de incorporação, garantindo as propriedades mecânicas adequadas para as aplicações que se pretende do material.

A análise da massa específica revela uma tendência de diminuição à medida que o teor de serragem na mistura aumenta. A mistura BCS15 apresentou uma massa específica de 2205,25 kg/m³, enquanto as demais misturas BCS25, BCS35 e BCS45 apresentaram valores de massa específica iguais a 2018,03 kg/m³, 1825,03 kg/m³ e 1617,61 kg/m³, respectivamente. Em comparação com a mistura BCS15, as reduções nas misturas BCS25, BCS35 e BCS45 foram de 8,5%, 17% e 27%, respectivamente. Essa redução pode ser atribuída à menor densidade das partículas de serragem, que substituem parte do cimento, diminuindo assim a massa específica da mistura. O desvio padrão mais baixo nas misturas BCS25 e BCS35 indica que essas misturas apresentam maior homogeneidade.

3.2. CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA

A Figura 2 e a Figura 3 mostram os ensaios térmicos dos 3 painéis avaliados. A Figura 2 apresenta as curvas temperatura x hora das medições realizada na face direcionada para o ambiente 2 (com incidência de calor). Cada curva representa a média de três medições, correspondentes aos sensores de temperatura posicionados nos pontos P2A, P2B e P2C, conforme ilustrado na figura 1. As curvas da face oposta do painel, com sensores nos pontos P1A, P1B e P1C, são apresentadas na Figura 3.

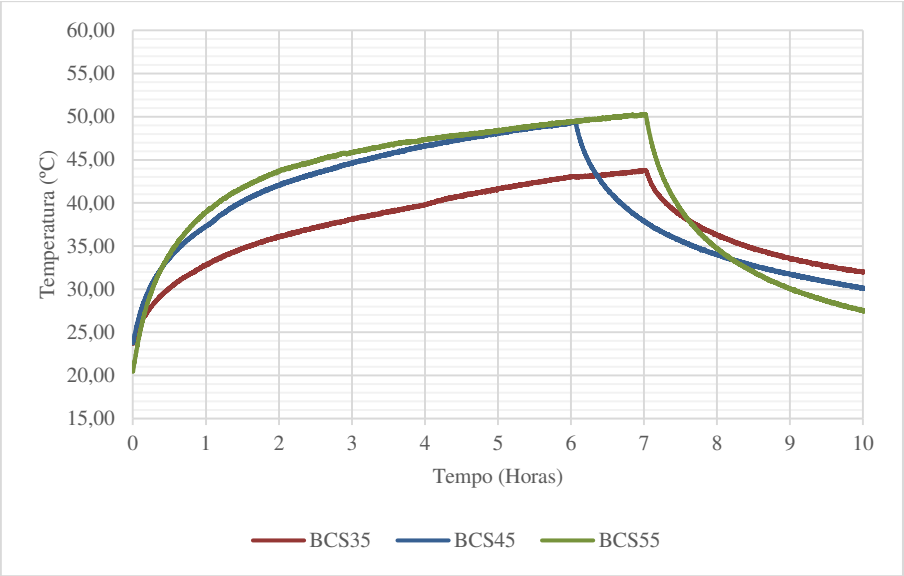

Figura 2: Curvas temperatura x tempo da face do painel com incidência da fonte de calor.
Fonte: Os autores (2025).

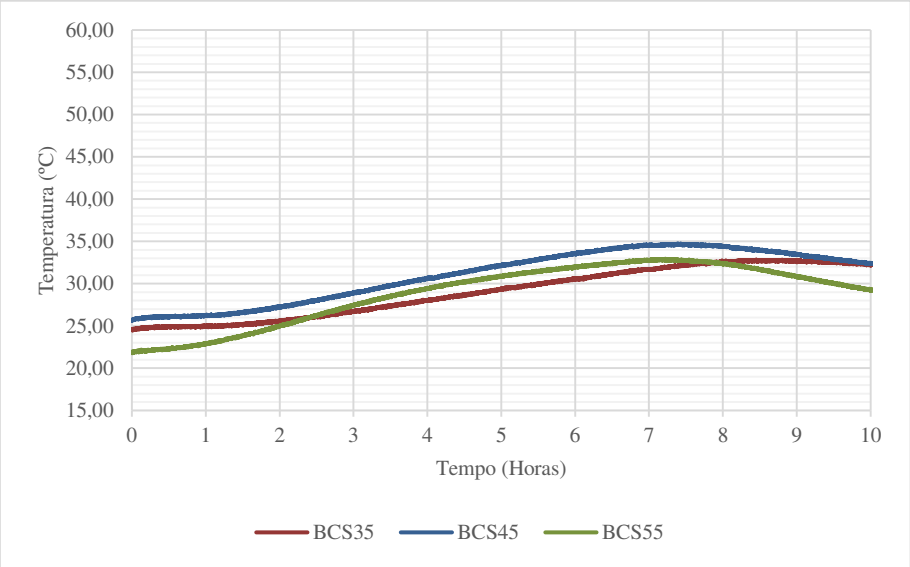

Figura 3: Curvas temperatura x tempo da face do painel sem incidência da fonte de calor
Fonte: Os autores (2025).

Analisando as imagens acima nota-se que o BCS35, inicia a temperatura 24°C, subindo gradualmente até atingir aproximadamente 44°C ao final de 7 horas. O BCS45, por sua vez, apresenta uma temperatura interna inicial semelhante, cerca de 26°C, mas sua temperatura sobe de forma mais acentuada, alcançando 49°C com 6 horas. A curva térmica do BCS45 mostra um aumento de temperatura mais rápido em comparação com o BCS35, indicando uma maior eficiência de retenção do calor. Por fim, o BCS55 mostra um desempenho térmico similar ao encontrado para a mistura BCS45 Sua temperatura interna começa em 22°C, mas aumenta de forma acentuada, atingindo 50°C após 7 horas. No entanto, o que realmente se destaca no BCS55 é a rápida dissipação de calor após o pico, com a temperatura interna caindo abruptamente, o que sugere uma boa capacidade de dissipação térmica.

É possível observar o desempenho térmico superior do painel BCS55. Com base nos valores máximos de temperatura atingidos nas faces dos painéis, tem-se que a diferença de temperatura entre as faces dos painéis foi de 17 °C para o BCS55, 14 °C para o BCS45 e 10°C para o BCS35. Considerando apenas o BCS35 e BCS55, o BCS55 demonstrou um desempenho térmico 70%

superior ao BCS35. Logo, conclui-se que quanto maior a fração volumétrica inserida na mistura, maior é o isolamento térmico proporcionado pelo painel.

No que se refere ao amortecimento térmico, tais resultados foram calculados com base nos valores máximos de temperatura obtidos dentro dos ambientes 1 e 2. Considerando a limitação do número de figuras do modelo do artigo, estas curvas não foram apresentadas, mas a discussão a seguir apresenta tais resultados.

Para a mistura BCS35, a temperatura máxima obtida foi de 30,8 °C no Ambiente 1, enquanto no Ambiente 2 a temperatura máxima foi igual a 51,6 °C. Assim, o bioconcreto proporcionou um amortecimento térmico de 20,8 °C. Para a mistura BCS45, verificou-se que a temperatura máxima foi igual a 30,8 °C no Ambiente 1, enquanto no Ambiente 2 essa temperatura foi de 55,2 °C. Dessa forma, o amortecimento registrado foi de 24,4 °C. Por fim, no caso do BCS55, as temperaturas máximas nos ambientes 1 e 2 foram, respectivamente iguais a 30 °C e 54,3 °C, resultando em um amortecimento térmico de 24,3 °C. Em resumo, o BCS55 apresentou o melhor desempenho em estabilidade térmica, com maior amortecimento (24,3 °C), indicando alta inércia térmica. O BCS45 teve comportamento intermediário, com resposta térmica mais rápida e menor retenção de calor. Já o BCS35 mostrou menor amortecimento (20,8ºC).

Frente ao exposto, materiais como o BCS55, com maior inércia térmica, apresentam amortecimento térmico mais elevado, contribuindo para uma maior estabilidade térmica. Já o BCS35 e o BCS45, com menor inércia, respondem mais rapidamente às mudanças térmicas. Ainda assim, em contextos que exigem controle da temperatura interna, o uso de bioconcretos com maior teor de serragem, como o BCS55, pode ser vantajoso por sua maior capacidade de armazenamento térmico. A escolha ideal depende do contexto de aplicação e merece avaliação específica.

É importante observar que os bioconcretos com maior capacidade de dissipação térmica, como o BCS55, são mais eficientes na redução de temperatura, o que é um indicativo de maior isolamento térmico. Isso ocorre porque o BCS55 possui características que favorecem a dissipação térmica mais acentuada, devido o volume de serragem na mistura e seu índice de vazios. Em contraste, o BCS35, embora mais estável, não demonstra a mesma capacidade de controle térmico eficiente, com uma redução de temperatura mais modesta.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que o aumento da fração volumétrica de serragem nas misturas de bioconcreto influencia significativamente suas propriedades no estado fresco e endurecido. No estado fresco, foi observada uma redução progressiva no abatimento à medida que o teor de serragem aumentava, evidenciando a perda de fluidez das misturas. Isso se deve ao formato irregular das partículas de serragem e à sua menor aderência à pasta de cimento, especialmente em maiores proporções. A mistura BCS15, com menor teor de serragem (15%), apresentou o maior abatimento (130 mm), enquanto a mistura BCS55, com 55% de serragem, teve o menor valor (13 mm).

Do ponto de vista mecânico, a resistência à compressão também apresentou uma tendência de queda com o aumento do teor de serragem. A mistura BCS15 destacou-se com os maiores valores em todas as idades analisadas, atingindo 33 MPa aos 28 dias. Em contrapartida, a resistência das misturas com maiores teores de serragem foi significativamente inferior, sendo que a mistura BCS45 apresentou redução de até 74% na resistência aos 28 dias em relação à BCS15. A mistura BCS55 não resistiu aos ensaios devido à perda de coesão, evidenciando o limite de incorporação da serragem para aplicações que demandam desempenho estrutural mínimo. A redução da resistência está associada à menor disponibilidade de cimento e à consequente limitação na formação do gel de C-S-H, fundamental para o ganho de resistência.

Quanto à massa específica, observou-se uma redução consistente conforme o teor de serragem aumentava, variando de 2205,25 kg/m³ na BCS15 para 1617,61 kg/m³ na BCS45. Essa redução é atribuída à menor densidade da serragem em comparação ao cimento. Além disso, os menores

desvios padrão observados nas misturas BCS25 e BCS35 indicam uma maior homogeneidade nessas composições.

Os bioconcretos produzidos com a incorporação de serragem de madeira demonstraram viabilidade na sua produção e se enquadraram como isolantes térmicos. Os ensaios térmicos realizados demonstraram sua capacidade, evidenciada pela redução da temperatura em comparação a maior quantidade de serragem inserida na mistura. Ressalta-se que o processo de mistura foi conduzido de forma adequada, garantindo uma composição homogênea e, consequentemente, um desempenho térmico satisfatório.

A diminuição da carga térmica transferida para o interior das edificações pode resultar em economia de energia, uma vez que reduz a necessidade de climatização dos ambientes. Esse efeito tende a ser mais significativo em regiões onde a radiação solar representa uma parcela considerável da carga térmica no espaço construído.

Este estudo teve como foco a avaliação do comportamento térmico dos materiais analisados, apontando um potencial benefício do ponto de vista termoenergético com o uso de resíduos em substituição aos agregados naturais. A pesquisa não abordou a análise ambiental desses materiais, mas sugere que, em futuros estudos, metodologias como a avaliação do ciclo de vida possam ser utilizadas para avaliar a sustentabilidade do uso de bioconcretos na construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16889: Concreto - Determinação do índice de consistência pelo espalhamento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

ALMEIDA, T. **A influência dos materiais de sistemas de vedações verticais no desempenho termo-energético de edificações: habitações de interesse social no Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

BERLEZA, A. **Sustentabilidade e inovação em materiais e sistemas construtivos para o projeto de edificações**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

GLORIA, M., 2015. **Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches de concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

GUIMARÂES, J.; PEIXOTO, M. S.; SALES, A. S. B. Biological concrete, a viable alternative in modern civil construction: Review. **International Journal of Scientific Management and Tourism**, v. 10, n. 6, p. 01-37, 2024.

HASAN, K. F.; HORVÁTH, P. G.; ALPÁR, T. Nanotechnology for waste wood recycling. **In: Nanotechnology in Paper and Wood Engineering**, Woodhead Publishing, Duxford, United Kingdom, 2022.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL, 2014.

OLIVEIRA, S.; A. ALVES, L. Novas tecnologias em gestão da sustentabilidade nas obras civis. **Boletim do Gerenciamento**, v. 37, n. 37, 2023.

PERES, A. **Cidades eficientes, cidades confortáveis: um método multidisciplinar de otimização de sistemas fotovoltaicos integrados a edificações**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2024.

PROCEL. **O Programa**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp ?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>. Acesso em: Março 2023. PROJETEEE (Projetando Edificações Energeticamente Eficientes).

VIEZZER M. R. Z., Utilização de resíduo madeireiro amazônico na produção de blocos de vedação para construção civil. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Taquari. Lajedo, 2022.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências brasileiras de fomento à pesquisa CAPES, CNPq e FAPERJ pelo suporte financeiro. Este projeto de pesquisa é parcialmente financiado pela FAPERJ (Processo nº E-26/201.369/2022). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.