XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Parede monolítica em Solo-Cimento Autoadensável: Potencialidades para o desempenho térmico de edificações

Monolithic wall in self-compacting soil-cement: Potential for buildings' thermal performance

Ivan Julio Apolonio Callejas
UFMT | Cuiabá | Brasil | ivancallejas1973@gmail.com
Luciane Cleonice Durante
UFMT | Cuiabá | Brasil | luciane.durante@hotmail.com
Emeli Lalesca Aparecida da Guarda
UFSC | Florianópolis | Brasil | emeliguarda@gmail.com
Hellyda Sacal de Queiróz
IFMT | Cuiabá | Brasil | hellyda.arquitetura@gmail.com

Resumo

O solo-cimento autoadensável (SCAA) se apresenta como alternativa para utilização em sistemas de vedação vertical (SVV) visando aperfeiçoar o desempenho das edificações. Analisa-se por meio de simulação computacional o desempenho térmico de uma habitação localizada na zona bioclimática 7, idealizada em dois sistemas construtivos: SVV de SCAA com incorporação de resíduos de areia de construção civil e SVV de tijolos cerâmicos rebocados. A edificação com SCAA apresentou 4,3% a mais de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa e 1,3°C a menos de temperatura operativa anual máxima em relação a com tijolos cerâmicos, proporcionando melhor habitabilidade aos usuários.

Palavras-chave: Vedação vertical. Areia reciclada. Desempenho térmico. Conforto térmico.

Abstract

The self-compacting soil-cement (SCSC) presents itself as an alternative for use in vertical panels systems (VPS) in order to improve building performance. We analyze, through computer simulation, the thermal performance of a house located in the bioclimatic zone 7, idealized in two construction systems: VPS of SCAA with the incorporation of waste sand from civil construction waste and VPS of plastered ceramic bricks. The building with SCAA showed 4.3% more hours of occupancy within the operating temperature range and 1.3°C less than the maximum annual operating temperature compared to the one with ceramic bricks, providing better habitability to users.

Keywords: Vertical panel system. Recycled sand. Thermal performance. Thermal comfort.

Como citar:
CALLEJAS, I. J. A; DURANTE, L. C; GUARDA, E. L. A; QUEIRÓZ, H. S. Parede monolítica em Solo-Cimento Autoadensável: Potencialidades para o desempenho térmico de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-13.

INTRODUÇÃO

O solo-cimento consiste em uma técnica de estabilização de solos com cimento, que surgiu nos Estados Unidos, por volta de 1935 [1], para aplicação em bases e sub-bases de pavimentos, revestimento de valas, proteção de taludes e, também, para a confecção de tijolos ou blocos, destinados à construção de sistemas de vedação vertical (SVV) [2]. De acordo com NBR 12.253 [3], o solo-cimento é definido como o resultado da mistura do solo, cimento e água, em proporções definidas por dosagens específicas para cada caso de aplicação. Na mistura, sempre sujeita ao processo de compactação, o cimento visa estabilizar o solo e, a água, hidratar o cimento.

Uma variação dessa técnica é o solo-cimento no estado plástico, de modo a dispensar o processo compactação, o que ocorre sob a ação do seu peso próprio, utilizado, particularmente, para a construção de estacas de fundação. Mais recentemente, estudos incluíram aditivos superplastificantes no solo-cimento, permitindo sua aplicação no estado fluido ou autoadensável [4,5,6]. No Brasil, esse material tem sido denominado solo-cimento autoadensável (SCAA) e, internacionalmente, não há um designação única, sendo conhecido como “self-compacting soil-cement”, “cement-stabilised self-compacting rammed Earth” e “mud-concrete”, em referência às características visuais que possui, semelhante a uma lama [7].

O SCAA se caracteriza por apresentar maior teor de cimento e maior quantidade de água em relação ao solo-cimento compactado, além de aditivos superplastificantes (desenvolvidos para o concreto) com intuito de aumentar sua trabalhabilidade, recebendo, ainda, em alguns casos, adição de finos, com a função de aprimorar suas características nos estados fresco e endurecido [8]. Em razão disso, o SCAA se apresenta como um material para a produção de SVV, a partir da moldagem de um componente contínuo e monolítico, com ou sem função estrutural.

Sob a perspectiva da sustentabilidade, o solo-cimento compactado e o autoadensável se constituem em uma alternativa para minimizar impactos ambientais e consumo de energia, uma vez que, incorporam solo do próprio local da construção e podem, também, incorporar resíduos oriundos da construção civil (RCC). O SCAA se constitui, portanto, em um material com perspectivas para assegurar padrões de produção e de consumo mais sustentáveis, alinhados com a Agenda 2030 (ONU, 2015), em especial com a ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), a 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e a 13 (Combate às Alterações Climáticas) [9].

Estudos sobre o tema indicam a viabilidade de utilização de SCAA, com enfoque na análise do desempenho físico e mecânico para aplicação em paredes monolíticas e blocos [5,6,8,10] e, ainda, a possibilidade de incorporação de vários tipos de resíduos sólidos (agregados) vegetais, minerais e poliméricos, em várias proporções nas misturas de SCAA, como fibras de sisal [11], de cinza de casca de arroz [12], de resíduos de concreto [13], de pó de mármore e RCC [14], de areia de RCC [15] e de microfibras de polipropileno [16].

Além do desempenho físico e mecânico, quando se vislumbra a aplicação de SCAA em SVV, suas propriedades térmicas se tornam relevantes [17]. A determinação da

condutividade e capacidade térmica são importantes propriedades a serem consideradas durante a fase de projeto das construções idealizadas com painéis de vedação em SCAA. Essas propriedades são requeridas nas avaliações de desempenho térmico, principalmente quando se vislumbra, em função de seu potencial baixo custo, sua aplicação em habitações de interesse social, em razão do elevado déficit brasileiro de aproximadamente 6.355 milhões de domicílios [18].

Estudos apontam que as características construtivas das habitações de interesse social (HIS) construídas no Brasil, apresentam desempenho termoenergético insatisfatório [21], indicando a necessidade de readequação de estratégias construtivas visando reduzir o custo operacional relacionado ao consumo de energia, um aspecto importante para a população de baixa renda [22].

Assim, em continuidade a pesquisa desenvolvida por Simioni, Callejas e Durante [15], este estudo tem por objetivo analisar comparativamente o desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada na zona bioclimática 7, idealizada em dois sistemas construtivos: i) paredes de SCAA com incorporação de resíduos de areia de RCC na mistura, e ii) paredes de tijolos cerâmicos rebocados, sistema tradicionalmente usado no Brasil.

MATERIAIS E MÉTODO

MATERIAIS

Este estudo complementa o conduzido por Simioni, Callejas e Durante [7] que analisaram a influência da incorporação de areia de resíduos de construção civil (RCC) no comportamento físico e mecânico de misturas de SCAA, visando a aplicação em sistema de vedação vertical monolítico, com os seguintes materiais:

a) Solo: latossolo vermelho amarelo (classificação A-4 da Highway Research Board - HBR) [23], que apresenta adequada composição granulométrica (grãos de argila – 25%, silte – 34% e areia fina e média – 42%), favorecendo a homogeneidade e resistência mecânica do solo-cimento. Possui adequada características físicas para estabilização com cimento Portland, com 100% de material passando na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, 53,2% de teor de finos passantes na peneira com abertura de malha de 0,075 mm, possuindo limite de liquidez menor que 45% e índice de plasticidade inferior a 18%.
b) Cimento: CP II Z 32, composto com filler calcário, de secagem rápida e alta resistência mecânica (≥ 32 MPa aos 28 dias), com caracterização física e mecânica enquadrada aos limites estabelecidos nas normativas vigentes.
c) Aditivo superplastificante: de pega normal, com composição química à base de éter policarboxilato, visando garantir plasticidade e fluidez às misturas com presença de elevada quantidade de materiais finos, como a do solo latossolo vermelho amarelo, amplamente utilizado nas pesquisas de SCAA.
d) Areia: areia reciclada de RCC de densidade de massa aparente (2,35 g/cm³), inferior à da areia natural usualmente utilizada na região (2,65 g/cm³); índice de absorção de água (11%) que atende ao limite de 17% estabelecido pela NBR 15.116 [24] e

composição granulométrica dentro dos limites de distribuição para agregado miúdo previsto para a zona ótima da NBR 7.211 [25].

Os traços analisados por Simioni, Callejas e Durante [15] são aqueles indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Misturas de SCAA com incorporação de RCC

Mistura	Solo	Cimento	Água	Aditivo	Rcc	Fator a/c	Resistência 28 dias (MPa)	
Ref	100%	20%	27%	1,6%	0%	1,62	Média	DP
25% RCC	75%	20%	27%	1,2%	25%	1,62	3,56	0,18
50% RCC	50%	20%	27%	0,8%	50%	1,62	3,97	0,17
75% RCC	25%	20%	27%	0,4%	75%	1,62	3,74	0,12
100% RCC	0%	20%	27%	0%	100%	1,62	3,26	0,12

Fonte: Simioni, Callejas e Durante [15].

As amostras, na forma de placas com dimensões 0,45x0,45x0,05m confeccionadas por Simioni, Callejas e Durante [15], foram utilizadas no presente estudo para determinação das propriedades térmicas de todas as misturas no estado endurecido.

MÉTODO

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS

Foram determinadas as propriedades térmicas das misturas no estado endurecido relativas à condutividade térmica (λ, em W/m.k) e capacidade térmica volumétrica (Cp, em J/m^{3}k) (transformado para calor específico). Para tanto, utilizou-se o equipamento ISOMET 2114, marca Applied Precision (Figura 1). O princípio de medição é baseado na análise da resposta de temperatura do material sob pulsos de fluxo de calor induzidos pelo aquecimento elétrico de um aquecedor resistivo inserido na sonda que está em contato térmico com a amostra em teste. As propriedades foram auferidas em três posições distintas nas placas produzidas para cada traço, representadas por meio dos seus valores médios e desvio padrão.

Figura 1: Medição das propriedades térmicas na placa de SCAA com 25% de RCC.



Fonte: os autores.

Os resultados obtidos foram relacionados aos teores de porcentagem de substituição de areia, bem como aos valores de densidade da massa endurecida e índice de vazios, visando estabelecer correlações com as propriedades térmicas das misturas.

Para analisar o desempenho térmico selecionou-se a mistura híbrida que resultou em maior resistência mecânica e menor condutividade térmica, com vistas a reduzir os ganhos térmicos pelo sistema de vedação vertical da edificação.

Para a definição da espessura do SVV, adotaram-se as recomendações e diretrizes construtivas estabelecidas pela NBR 15.575 [26] e NBR 15.220 [27], verificando o atendimento aos critérios da zona bioclimática 7.

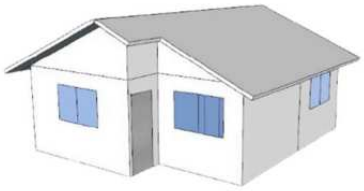
OBJETO DE ESTUDO: HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

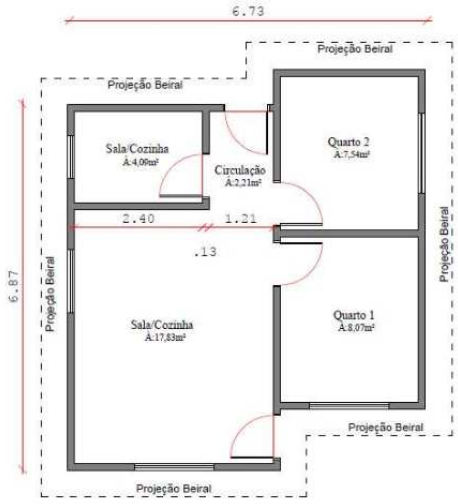
Tomou-se como objeto de estudo uma habitação de interesse social de referência para o Brasil, conforme Triana, Lamberts e Sassi [21] (Figura 2). A área total e útil da edificação são 39,18m^2 e 34,54m^2, respectivamente, contendo os ambientes Sala/Cozinha (17,44m^2), Quarto 01 (7,78m^2), Quarto 02 (7,57m^2) e Banheiro (1,75m^2). Os ambientes internos possuem pé-direito de 3,00m. O sistema de cobertura se apresenta em duas águas com beirais de 0,30m.

Considerou-se a HIS situada na cidade de Cuiabá-MT, região Centro Oeste (15°36'56"S; 56°06'01"W). O clima local é classificado como Tropical de savana (Aw – Köppen-Geiger) e na Zona Bioclimática 7 [27].

Figura 2: a) habitação de Interesse Social (HIS); b) planta baixa da HIS

a) b)





Fonte: Triana, Lamberts e Sassi [21].

A partir da HIS, foram tomadas as edificações de referência (HIS_{REF}) e em alvenaria (HIS_{ALV}), as quais tiveram as propriedades termofísicas de seus sistemas de vedação vertical (SVV) e de cobertura (SC) calculadas conforme a NBR 15.220 [27] (Quadro 1). O modelo de referência (HIS_{REF}), para fins de simulação computacional termoenergética, representa a edificação a ser analisada, adotando as características de referência indicadas na NBR 15575 [17], descritas no Quadro 1. Este modelo se refere à edificação a ser simulada idealizada com parede e laje de 0,1m de espessura em concreto. Para a simulação da edificação em alvenaria (HIS_{ALV}), considerou-se as propriedades termofísicas do SVV também indicadas no Quadro 1. Por sua vez, para a edificação em SCAA (HIS_{SCAA}), alterou-se as propriedades termofísicas do SVV (Quadro 1), para os valores de condutividade térmica (λ, em W/m.k) e capacidade térmica

volumétrica (Cp, em J/m^{3}k), determinados com auxílio do equipamento ISOMET 2114, marca Applied Precision.

Quadro 1: Propriedades termofísicas dos materiais construtivos do SVV e (SC) das edificações

Envoltória		Composição	Espessura (cm)	α (externa)	C (J/Kg.K)	γ (W/m²K)	ρ (Kg/m³)
SVV	HIS_{REF}	Parede referência[1]	10	0,50	1000	1,75	2200
SC		Telha referência[1]	0,6	0,65	840	0,65	1700
		Ático[1]	Resistência térmica da câmara de ar de 0,21m²K/W, do tipo alta emissividade, com espessura superior a 5cm				
		Laje[1]	10,0	0,15	1000	1,75	2200
SVV	HIS_{ALV}	Argamassa externa	1,5	0,15	1000	1,15	2000
		Tijolo Cerâmico	9,0		920	0,90	1600
		Argamassa interna	2,5		1000	1,15	2000
SC	HIS_{ALV} e HIS_{SCAA}	Telha Cerâmica	2,0	0,15	920	0,90	1600
		Ático	Resistência térmica da câmara de ar de 0,21m²K/W, do tipo alta emissividade, com espessura superior a 5cm				
		Laje	10,0	0,15	1000	1,75	2200

Fonte: [1] NBR 15575 [17] e os autores.

As esquadrias da edificação atendem aos pré-requisitos de iluminação e ventilação da NBR 15.575 [26] e da NBR 15.220 [27] (Quadro 2). As características das aberturas e dos elementos transparentes do modelo de referência foram redimensionadas conforme a NBR 15.575 [26] para que o fator de ventilação corresponda a 45% para cada abertura. O perfil de ocupação e cargas internas estão indicados na Tabela 2.

Quadro 2: Tipo, dimensões e áreas das esquadrias da edificação ajustadas

Esquadrias	**Cozinha**	**Quarto 1 e 2**	**Sala**
Dimensões (m)	1,20x1,10	1,50x1,10	1,50x1,10
Área (m²)	1,32	1,65	1,65
Tipologia	Basculante em vidro transparente, sem proteção solar	Veneziana de vidro, de correr com quatro folhas	

Fonte: NBR 15575 [26].

Tabela 2: Padrões de ocupação e sistema de iluminação artificial

Ocupação		
Ambiente	**Schedule**	**Atividade realizada**
Sala	14 as 17hrs – 50% 18 as 21hrs – 100%	Sentado ou assistindo TV – 60 W/m²
Dormitórios	22 as 08hrs – 100%	Dormindo ou descansando – 45W/m²
Iluminação artificial		
	Schedule	**Densidade de potência instalada de iluminação (DPI)**
Sala	16 as 21hrs	5 W/m²
Dormitórios	22 as 23hrs e 06 as 07hrs	5 W/m²

Fonte: NBR15.575 [26].

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO CONFORME A NBR 15575

Tomou-se como referência o método de simulação descrito na NBR 15.575 [17], para atendimento do desempenho mínimo, que prevê a comparação entre a edificação de referência (HIS_{REF}) e as edificações reais desse estudo: HIS_{SCAA} e HIS_{ALV}. Para isto, utilizou-se o EnergyPlus versão 9.2 [28], validado pela ASHRAE [29] e recomendado pela NBR 15575 [17]. A simulação considerou as propriedades térmicas dos sistemas construtivos, os schedules de ventilação e de uso de equipamentos e iluminação e a taxa de ocupação, conforme NBR 15.575 [26]. Além disso, avaliou-se o desempenho somente para atendimento no nível mínimo da NBR 15.575 [17], no qual avalia o percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa ($PHFT_{UH}$) e a temperatura operativa anual máxima (TomáxUH).

Para determinação do $PHFT_{UH}$, é preciso selecionar o intervalo em que a região de estudo se encontra, utilizando como base a Temperatura de Bulbo Seco (TBSm). A cidade de Cuiabá se insere dentro do intervalo 2 (Tabela 3). Utilizou-se a planilha disponibilizada no site do Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE) [29] para otimizar o processo metodológico.

Tabela 3: Faixas de temperatura operativa para determinação do (PHFTAPP)

Intervalos de temperatura externas	Média anual da Temperatura Externa de Bulbo Seco (TBSm)	Faixa de temperatura operativa a ser considerada
2	25,0 °C ≤ TBSm < 27,0 °C	ToAPP < 28,0 °C

Fonte: Adaptado da NBR 15575 [17].

Posteriormente, determina-se a Temperatura Operativa Anual Máxima (TomáxAPP), de cada APP, considerando apenas os períodos de ocupação. Para a determinação da temperatura operativa anual máxima e mínima (TomáxUH e TomínUH), adota-se o maior e o menor valor obtido entre os APP. A partir desses resultados, verifica se a edificação se enquadra no nível de desempenho mínimo da NBR 15575 [17].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E ESPESSURA DAS MISTURAS

Constata-se que a incorporação de RCC é benéfica para a elevação da densidade de massa aparente das misturas híbridas até certo limite, compreendido entre 25% e 50%,

a partir do qual se nota decréscimo (Tabela 3). Por sua vez, aquelas dosadas somente com solo ou com areia de RCC, apresentam as menores e maiores densidades. Quanto ao índice de vazios, nota-se a tendência de diminuição dessa propriedade à medida que se incorpora os resíduos de areia nas misturas de SCAA (Tabela 4). Observa-se tendência de elevação da condutividade térmica à medida que se incorpora areia de RCC nas misturas, porém, a densidade de massa aparente é um fator que interfere nessa propriedade térmica. Obteve-se comportamento inverso para o calor específico, com valores se reduzindo à medida que se incorpora areia de RCC. O resultado se adere ao observado por Erba [31], onde a argamassa com 100% areia natural apresentou maior condutividade térmica que as híbridas, com substituição por areia de pó de pedra.

Tabela 4: Valores médios (± desvio padrão) dos ensaios de físicos e térmicos

Propriedade	Densidade aparente (g/cm^3)		Índice de vazios (%)		Condutividade Térmica (W/m.K)		Calor específico (J/kg.K)	
Mistura	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
REF	1,78	0,14	26,44	2,01	0,39	0,02	838,53	20,73
25% RCC	1,92	0,25	24,63	1,14	0,47	0,02	820,40	9,71
50% RCC	1,90	0,01	27,16	1,20	0,46	0,01	774,69	16,97
75% RCC	1,88	0,03	24,00	0,46	0,50	0,02	758,14	6,11
100% RCC	1,97	0,01	22,96	1,44	0,58	0,00	751,37	7,52

Fonte: os autores.

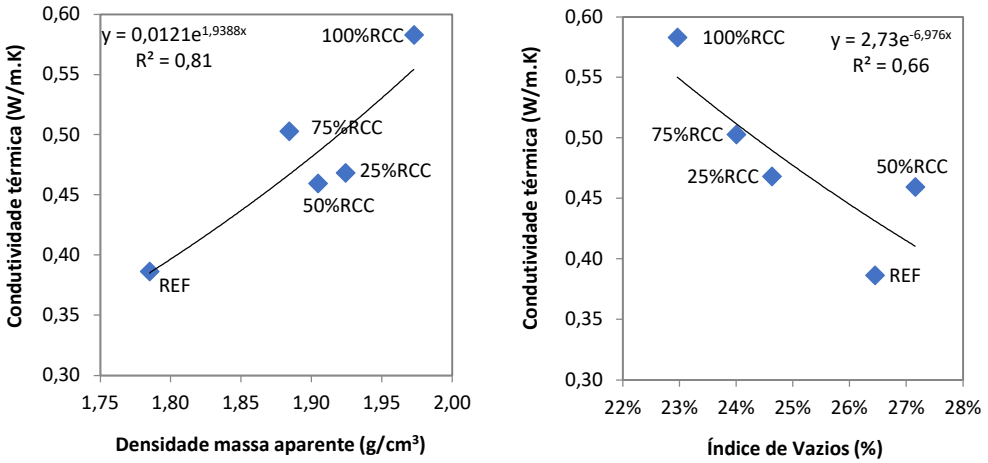
Foi possível estabelecer correlação entre os valores de condutividade térmica e densidade de massa aparente (Figura 3a), bem como, com o índice de vazios (Figura 3b). As curvas de tendências geradas por meio de análise de regressão linear em ambos os casos forneceram um adequado ajustamento dos dados (R^2>0,61). Portanto, nota-se que há dependência entre estas propriedades, expressa pela tendência de elevação da condutividade térmica à medida que a densidade de massa aparente das argamassas tende a se elevar. Este comportamento já havia sido evidenciado por Martins et al. [32]. Por outro lado, há tendência de redução à medida que o índice de vazios se reduz, com outros fatores como a densidade influenciando esse comportamento, visto que o transporte de calor é dependente do adensamento/ entrosamento das diferentes partículas dentro da matriz cimentícia.

A análise estatística indicou que há diferença significativa entre a mistura REF e as hibridas, assim como em relação a de 100%RCC (p>0,05). Já as misturas 25%RCC e 50%RCC não diferem entre si (p>0,05), mas diferem significativamente da mistura de 75%RCC e de 100%RCC (p<0,05). Assim, em razão das misturas 25%RCC e 50%RCC apresentarem menor condutividade térmica que a 75%RCC, sob o ponto de vista de transporte de calor, esta são tecnicamente mais adequadas para incorporarem a SVV da edificação a ser simulada. Ao se considerar ainda que a mistura com 25% de RCC apresenta menor índice de vazios, o que reduz a permeabilidade à penetração da água, e maior resistência mecânica que a de 50% [15], optou-se nesse trabalho por

considerar a mistura 25%RCC como aquela adequada para a simulação da edificação com painéis de vedação em SCAA.

As propriedades térmicas da mistura de SCAA com 25% de incorporação de RCC foram utilizadas para definir a espessura da parede do SVV da edificação a ser simulada. Para o atendimento de todos os requisitos normativos da NBR 15575 [26] e NBR 15220 [27], é necessário utilizar uma espessura mínima de 0,12m, com vistas a atender ao atraso térmico de 6,5h requerido para a zona bioclimática 7 (Tabela 5).

Figura 3: Á esquerda correlação entre a densidade de massa aparente; e à direita correlação entre os índices de vazios com a condutividade térmica nas placas ensaiadas



Fonte: os autores.

Tabela 5: Verificação do atendimento das propriedades térmicas do SVV em SCAA para a ZB 7.

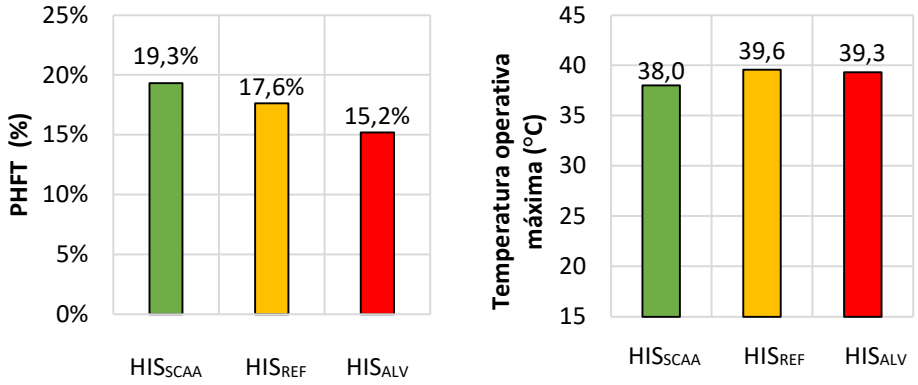
Propriedades térmicas da Parede SCAA de 0,12m					Condições normativas aplicáveis			
α	FSo	U (W/m²K)	CT (kJ/m2K)	Φ (h)	Referência	α_{par}	U_{par}	Φ ou CT_{par}
0,15	1,0	1,68	189	6,5	NBR 15.220 [27]	≤ 0,4	≤ 2,20	Inércia pesada≥6,5h
					NBR 15.575 [26]	≤ 0,6	≤ 3,60	CTpar≥ 130

*α: absortância térmica; FSo: Fator Solar; U: transmitância térmica total; CT: Capacidade térmica; ϕ: Atraso térmico; Fonte: adaptado de NBR 15.220 [27] e NBR 15.575 [26]

DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO SEGUNDO A NBR 15575 [26]

A HIS_{SCAA} proporciona P_HFT de 19,5%, o que equivale ao percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa de 25 a 27°C, enquanto a HIS_{ALV} proporciona P_HFT de 15,2% e a HIS_{REF}, que é de paredes de concreto, 17,6%. A temperatura operativa anual máxima ($To_{máx}$) na HIS_{SCAA} foi 38°C, na HIS_{REF} 39,6°C e na HIS_{ALV} de 39,3°C, o que representa 1,6 e 1,3°C a menos na HIS_{SCAA}, respectivamente (Figura 4).

Figura 4: P_HFT e $To_{máx}$ da HIS_{SCAA}, HIS_{REF} e HIS_{ALV}



Fonte: os autores.

A HIS_{SCAA} atende à classificação de desempenho mínimo na condição de ventilação natural da NBR 15575 [17], evidenciando melhores condições de conforto térmico internas na habitação e, também, potencial redução de carga térmica para fins de condicionamento artificial.

CONCLUSÕES

A determinação das propriedades térmicas das argamassas híbridas de SCAA revelou que a incorporação da areia de RCC em pouco impactou a condutividade térmica e o calor específico das argamassas se comparado a aquela com 100% de solo. Assim, a adição de 25% de RCC se revela benéfica, pois além de melhorar a resistência mecânica e reduzir o índice de vazios, proporciona propriedades térmicas adequadas para sua aplicação nos SVV das edificações.

A utilização do SCAA no SVV de uma edificação de baixa renda revelou que há aperfeiçoamento no desempenho térmico da edificação se comparada a de referência da norma NBR 15.575 (com paredes de concreto) e em relação a edificação com paredes de tijolos cerâmicos rebocados. O percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa é maior, assim como a temperatura operativa anual máxima é menor, o que indica a viabilidade técnica da aplicação desse material construtivo quando se pensa no quesito de habitabilidade.

Apesar da necessidade de verificação de outros quesitos normativos, o SCAA se mostra como uma alternativa técnica viável para a produção de SVV das edificações com vista a promover a sustentabilidade urbana, com potencial de evitar o lançamento do solo em áreas ilegais e/ou aterros sanitários, de proporcionar a reciclagem de materiais como a areia de RCC, o que corrobora assim com plano de desenvolvimento sustentável estabelecido na Agenda 2030.

Para trabalhos futuros, devido à variabilidade das propriedades térmicas do SCAA em função da proporção de RCC na mistura, recomenda-se avaliar o desempenho térmico da edificação considerando diferentes percentuais desse material. Além disso, torna-

se importante avaliar o desempenho da edificação quanto ao consumo energético para fins de resfriamento térmico.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa é financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso, Brasil (FAPEMAT N. 0323454/2021).

REFERÊNCIAS

[1] SILVEIRA, A. **Estabilização de solos com cimento**. Síntese de notas de aula. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, publicação n. 128, 1966.

[2] MILANI, A. P. S.; BARBOZA, C. S. B. **Contribuição ao estudo de propriedades do solo cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas**. Ambiente Construído, v. 16, n. 4, p. 143-153, 2016.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: solo-cimento: dosagem para emprego como camada de pavimento: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

[4] SEGANTINI, A. A. S; ALCANTARA, M. A. M. **Solo-cimento e solo-cal**. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON (Org.). Materiais de construção civil e princípios básicos de ciência e engenharia de materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, p. 863-891.

[5] ALCANTARA, M. A. M; NUNES, S. C. B., RIO; J. F. M. E. **Proposta de elaboração do solo-cimento auto-adensável a partir de solos da região do Porto-PT**. 2013, Gramado-RS. 55 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: IBRACON, 2013. v. 1.

[6] ALCANTARA, M. A. M.; NUNES, S. C. B.; RIO, J. F. M. E. **Estudo do solo-cimento autoadensável produzido com solo da região do Porto-PT**. Parte I: Caracterização das propriedades mecânicas. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, p. 37-51, 2014.

[7] AROOZ, F.R.; HALWATURA, R.U. **Mud-concrete block (MCB): mix design & durability characteristics.** Case Studies in Construction Materials, v. 8, p.39-50, 2018. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.12.004.

[8] FERNANDES, G. F. **Utilização do solo-cimento auto adensável na fabricação de blocos de alvenaria**. Ilha Solteira, 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2017.

[9] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**, 2015. Disponível em: https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/. Acesso em: 06 fev. 2022.

[10] AROOZ, F. R.; BABILEGEDARA, T. D.; HALWATURA, R. U. Effect of aggregate percentage on compressive strength of self-compacting in-situ cast Mud - Concrete load bearing walls. **In:** Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), p. 271-276, 2017. DOI: 10.1109/MERCon.2017.7980494

[11] MARTINS, A. P. S. **Desenvolvimento, caracterização mecânica e durabilidade de compósitos solo-cimento autoadensáveis reforçados com fibras de sisal**. Rio de Janeiro, 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

[12] CLAVERIE, J. **Estudo da influência da cinza de casca de arroz e da cal nas propriedades do solo-cimento autoadensável**. Ilha Solteira, 2015. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) – Faculdade de Engenhariia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2015.

[13] BEZERRA, F. T. C.; LAFAYETTE, K. P. V. **Avaliação do Resíduo da Construção e Demolição (RCD) em solo-cimento.** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 1, 2016.

[14] LLAJARUNA, M. A. V. **Estudo do solo-cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção**. Ilha Solteira, 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

[15] SIMIONI, F. C; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE; L. C. et al. **Solo-cimento autoadensável com incorporação de areia de resíduos de construção civil para aplicação em sistema de vedação vertical**. Ambiente Construído, v. 20, n. 4, p. 281–296, 2020.

[16] SOUZA, B. R.; PAZ, J. G. S.; MILANI, A. P. S. **Estudo da viabilidade técnica do solo-cimento auto adensável para fabricação de paredes monolíticas in loco**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., São Paulo, 2016. Anais [...] São Paulo, 2016.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais, Rio de Janeiro, 2021.

[18] Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor and T. Waterfield. **Déficit Habitacional no Brasil 2015**. http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/559-deficit-habitacional-2011-2012/file. Accessed 20 Apr. 2022.

[19] Brasil. Controladoria-Geral da União (CGU). **Minha Casa Minha Vida. Brasília: Ministério da Economia**. 2020. 85p. https://www.gov.br/cgu/pt-br/assuntos/noticias/2021/04/cgu-divulga-prestacao-de-contas-do-presidente-da-republica-de-2020/relatorio-de-avaliacao-pmcmv.pdf. Accessed 20 Set. 2022.

[20] Caixa Econômica Federal – CEF. **Casa Verde e Amarela**. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/casa-verde-e-amarela/Paginas/default.aspx.

[21] TRIANA, Maria Andrea; LAMBERTS, Roberto; SASSI, Paola**. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance**. Energy Policy, v. 87, p. 524–541, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041

[22] Guarda. E. L. A., Gabriel, E., Domingos, R. M. A., Durante, L. C., Callejas, I. J. A., Sanches, J. C. M. & Rosseti, K. A. C. 2019. **Adaptive comfort assessment for different thermal insulations for building envelope against the effects of global warming in the mid-western Brazil**. IOP Conf. Series: Earth Environonmental Science, v.329, p.012057. DOI: https://doi:10.1088/1755-1315/329/1/012057.

[23] SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado de Mato Grosso**. 2004.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116**: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2009.

[26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE, Rio de Janeiro, 2021.

[27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, Rio de Janeiro, 2005.

[28] DOE. Department of Energy 2016. **EnergyPlus**. Disponível em: https://energyplus.net. Acessado Fev. 2022.

[29] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 140-2001**: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, USA: ASHRAE, 2001

[30] Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. **Planilha de Cálculo de Indicadores**. Disponível: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/Planilha_NBR15575_Official_R02.xlsm. Acessado Fev. 2022.

[31] ERBA, Leandro Augusto. **Influência da substituição parcial de areia natural por areia de britagem em argamassas de revestimento: características, propriedades e condutividade térmica.** 121f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2022.

[32] MARTINS, A. F. S; CALLEJAS, I. J. A., DURANTE, L. C; ROSSETI, K. A. C; LOUZICH, K. M. D; CARDOSO, A. A. **Condutividade térmica de argamassas de revestimento: uma revisão sistemática**. In**:** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.