COMPORTAMENTO FÍSICO-MECÂNICO E TÉRMICO DE PLACAS CIMENTÍCIAS COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU PARA USO EM FORROS DE EDIFICAÇÕES

Enilda Maria da Silva Garcia de Freitas [(1)]; Douglas Sousa Tosta [(2)]; Saulo Güths [(3)]; Ana Paula Milani [(4)]

(1) UFMS – enilda.msgfreitas@gmail.com; (2) UFMS – douglastosta85@gmail.com; (3) UFSC – saulo@lmpt.ufsc.br; (4) UFMS – ana.milani@ufms.br

RESUMO

Produtos cimentícios com borracha de pneus inservíveis sem função estrutural têm-se mostrado viáveis para a aplicação na construção civil devido ao aumento da ductibilidade e à baixa condutividade térmica em vistas aos concretos e argamassas convencionais. Assim, o presente trabalho buscou estudar argamassas compostas pelas matérias-primas cimento-areia-resíduos de borracha de pneus inservíveis para a confecção de placas de forros com características de melhoramento térmico de edificações. Após a caracterização física dos materiais e estudo de dosagem do compósito cimentício com resíduos de borracha, foram realizados ensaios de caracterização físico-mecânica das placas cimentícias com borracha e verificado o seu comportamento térmico quando aplicadas como forro de cobertura de habitações. Foram encontrados resultados que validam mecanicamente a utilização de traços de argamassa cimentícia com até 15% de adição de resíduos borracha de pneus, o que a torna um produto tecnicamente viável para fabricação de placas pré-fabricadas por vibração e melhor comportamento térmico ao compará-lo com placas de argamassas cimentícias convencionais.

Palavras-chave: placas cimentícias, desempenho, argamassa com borracha de pneu inservível

PHYSICAL - MECHANICAL AND THERMAL BEHAVIOR OF CEMENT PLATES WITH RUBBER TIRE RESIDUE FOR USE IN BUILDING LININGS

ABSTRACT

Cemented products of non-structural function made from unserviceable rubber tire have proved to be viable application in civil construction due to the increased ductility and the low thermal conductivity in concrete and conventional mortars. Thus, the present study sought to study mortars composed of raw materials cement, sand and unserviceable rubber tire residue for the production of linings plates with thermal improvement characteristics for buildings. After the physical characterization of the materials and the dosage study of the cementitious composite with rubber, physical-mechanical characterization tests were carried out on the cementitious plate made from unserviceable rubber tire and verified its thermal behavior when applied as lining. Results were obtained that mechanically validate the use of cementitious mortar with up to 15% addition of unserviceable rubber tire, which makes it a product technically feasible in manufacturing prefabricated plates by vibration and better thermal behavior when compared to conventional cementitious mortar plates.

Keywords: cement slabs, performance, mortar with unserviceable tire rubber

1. INTRODUÇÃO

Há várias tecnologias de destinação final para os pneus inservíveis, mas a tecnologia mais usual no Brasil é o coprocessamento, que consiste na utilização de pneu triturado para fonte de calor em cimenteiras. Aproximadamente 60% dos pneus inservíveis são destinados para tal finalidade (IBAMA, 2017)(1). O coprocessamento, embora seja uma destinação ambientalmente correta, é um manejo que gera controvérsias, uma vez que não se sabe ao certo se a queima do pneu, mesmo em alta temperatura de combustão, não gera toxinas que podem afetar o ambiente e a saúde humana (FIKSEL et al, 2010)(2). Assim, o reuso "in natura" de borracha de pneus inservíveis viabiliza uma nova fonte de agregados para a construção civil e fornece uma metodologia limpa para destinação dos pneus inservíveis, poupando recursos naturais (GUELMINE et al., 2016)(3).

Dessa forma, é necessário investigações para o desenvolvimento de materiais de construção a partir da incorporação da borracha de pneus inservíveis em compósitos cimentícios sem função estrutural. Dentre as características físicas e mecânicas, destaca-se a diminuição na densidade quando comparado aos compósitos com agregados naturais devido às partículas de borracha possuir massa específica menor que a brita e areia natural, e consequentemente, aumento da porosidade do produto final (FLORES - MEDINA et al., 2013)(4).

Apesar das consideráveis perdas de resistência mecânica com a incorporação de partículas de borracha de pneus inservíveis em argamassa e concreto, foi constatada por Shah et al. (2014)(5) e Turgut et al. (2008)(6) o aumento da resistência térmica destes compósitos com aumento do teor de borracha. Os referidos autores atribuíram a melhor resistência térmica do concreto com borracha à baixa condutividade térmica dos agregados de borracha e ao aumento da porosidade do material.

Analisando o cenário do Brasil, um dos responsáveis pela elevação da temperatura interna em edificações térreas acontece por meio da cobertura, principalmente devido a exposição da superfície a radiação solar. Estas habitações quando não são providas de forro ou laje para separar o ático do restante da casa ficam mais susceptíveis ao desconforto térmico. Entretanto, a busca por materiais que amenizam a transferência de calor do meio externo (cobertura) ao meio interno, se faz necessário para proporcionar o conforto térmico e reduzir o consumo de energia consumido com equipamentos de acondicionamento térmico (MICHELS et al, 2007)(7).

Turgut et al. (2008)(6) destacando a baixa massa específica e o bom desempenho térmico dos compósitos cimentícios com borracha de pneu quando comparados aos compósitos cimentícios

convencionais indicam que este material de construção apresenta grande potencial na produção de fechamentos (sem função estrutural) em moradias sociais. Outra sugestão apontada por Shah et al. (2014)[5] é o uso de concreto com borracha de pneu em capas de lajes de cobertura como alternativa para melhorar o desempenho térmico em edificações.

Portanto, os elementos construtivos de compósitos cimentícios com borracha tendem a apresentar melhores propriedades termofísicas que os materiais convencionais de concreto e argamassa quando submetidos ao processo de transferência de calor. Logo, obter uma mistura adequada de argamassa adicionada de borracha de pneus inservíveis para a confecção de placas de vedação com características de isolamento térmico de edificações pode contribuir com os estudos de aplicabilidade de produtos alternativos para a eficiência energética da construção civil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção das argamassas foram utilizados cimento Portland CP V ARI, areia natural de Campo Grande/Brasil e partículas de borracha de pneus inservíveis processadas em empresa recicladora deste passivo ambiental, por meio de trituração mecânica “in natura” de pneus, ou seja, sem nenhum processo de lavagem ou tratamento físico ou químico da superfície.

A caracterização física da areia e das partículas de borracha foram realizadas conforme as normas ABNT NBR NM 45:2006[8] para determinação da massa unitária e ABNT NBR NM 248:2003[9] para a análise granulométrica. Quanto às massas específicas, a areia natural foi ensaiada conforme a ABNT NBR NM 52:2009[10]. Já para as partículas de borracha utilizou-se da ABNT NBR 16605:2017[11] com uso do querosene.

O estudo de dosagem das argamassas foram nas proporções 1:4 e 1:6 (cimento:areia), em massa, pois segundo Pinto e Fioriti (2016)[12] e Guelmine (2016)[3], com traços de referência nas proporções 1:3 e 1:5 (cimento: areia) para argamassas de revestimento com adição de borracha obtiveram interação físico-mecânica adequada entre as partículas de borracha com a pasta cimentícia.

Os teores de partículas de borracha adicionados no volume total dos componentes anidros foram de até 20% (Tabela 1) baseado nos resultados obtidos por Benazzouk et al. (2008)[13], que puderam constatar perdas de resistência mecânica acentuadas em compósitos com adições de borracha acima de 20%.

A relação água/cimento foi determinada visando a consistência ideal para posterior moldagem das placas cimentícias, como observado por Canova et al. (2007)[14] em seus estudos com argamassa de borracha de pneu para revestimento com adequado índice de consistência entre 250 mm a 260 mm. Assim, para o presente estudo de dosagem adotou-se um índice de consistência de 260 ± 5 mm.

Tabela 1 – Estudo de dosagem das argamassas cimentícias com borracha

Traço identificação*	Cimento (g)	Areia natural (g)	Partículas de borracha (g)	Traço unitário (em massa) (cimento:areia:borracha:água)
R_4-0%	500,00	2000,00	-	1:4:0:0,80
R_4-5%	500,00	2000,00	47,2	1:4:0,09:0,83
R_4-10%	500,00	2000,00	94,4	1:4:0,19:0,86
R_4-15%	500,00	2000,00	141,6	1:4:0,28:0,89
R_4-20%	500,00	2000,00	188,9	1:4:0,38:0,91
R_6-0%	357,14	2142,84	-	1:6:0:1,21
R_6-5%	357,14	2142,84	46,4	1:6:0,13:1,22
R_6-10%	357,14	2142,84	92,8	1:6:0,26:1,24
R_6-15%	357,14	2142,84	139,2	1:6:0,39:1,27
R_6-20%	357,14	2142,84	185,5	1:6:0,52:1,30

*A nomenclatura das amostras foi dada da seguinte forma: R_(traço)-(% de adição)

Foram moldados 3 amostras prismáticas de 4 cm x 4 cm x 16 cm conforme a ABNT NBR 13279:2005[15] para cada mistura, sendo avaliado, aos 7 dias de idade, as resistências à tração na flexão e à compressão simples. Também foram realizados os ensaios físicos de densidade de massa e o teor de ar incorporado conforme ABNT NBR 13278:2005[16] e de capacidade de absorção de água, índice de vazios e massa específica das argamassas conforme descrições da ABNT NBR 9778:2005[17].

Para a análise do comportamento físico-mecânico e verificação de viabilidade técnica da fabricação das placas cimentícias, foi realizado a avaliação da resistência à tração na flexão em placas de argamassas com borracha aos 7 e 28 dias de idade conforme ABNT NBR 13279:2005[15], sendo o vão adotado entre os apoios inferiores (2 cutelos) da máquina de ensaio baseado na relação obtida

entre o vão adotado pela norma citada e o comprimento do prisma, resultando em 20 cm de vão. As placas cimentícias com borracha foram produzidas nas dimensões de 30 cm x 10 cm x 3 cm e seguindo o método de distribuição da argamassa na fôrma com aplicação do adensamento mecânico através da mesa vibratória e tempo de vibração controlado através do surgimento de bolhas de ar na superfície da argamassa (Figura 1).

Figura 1 – Processo de fabricação da placa por vibração e ensaio mecânico



Contudo, para atender o menor consumo de cimento aliado a maior adição de borracha e a resistência de tração na flexão mínima de 4 MPa para forros cimentícios apontada pela ABNT NBR 15498:2016[18], e consequentemente na adoção da dosagem para a produção das placas cimentícias com borracha, foi executado um estudo estatístico por meio de análise de variância (ANOVA) e delineamento experimental em esquema fatorial por meio do teste de Tukey. Após análise estatística conciliado com a consistência ideal para a produção das placas por vibração, o consumo de cimento mínimo obtido foi de 396,89 kg/m³ e relação água/cimento de 0,70. Desta forma, o ajuste da dosagem esta apresentado na Tabela 2, sendo que os teores de borracha incorporados foram em substituição ao volume de areia, correspondendo aos teores de 0%,10% e 15%. Os ensaios físicos e mecânicos foram realizados de forma análoga ao estudo de dosagem inicial.

Tabela 2 – Dosagem das argamassas adotadas para placa cimentícia com borracha

Traço unitário (em massa) (cimento: areia: borracha:água)	Teor de borracha	Cimento (kg/m³)	Areia (kg/m³)	Borracha (kg/m³)	Água (kg/m³)
1: 3,94:0:0,70 (referência)	0%	396,39	1561,78	-	277,47
1:3,56:0,19:0,70	10%	396,89	1412,93	75,41	277,82
1:3,38:0,28:0,70	15%	396,85	1341,35	111,12	277,80

Para a análise do comportamento térmico das placas cimentícias com borracha foram realizadas simulações termoenergéticas com o programa *EnergyPlus* na versão 8.9.0, a partir do projeto representativo de habitação unifamiliar, faixa 1, definidos por Triana, Lamberts e Sassi (2015)[19]na análise de 11 projetos usados por companhias de habitação e agentes públicos nacionais no Programa Minha Casa Minha Vida. Assim, a edificação utilizada como modelo base para o estudo apresenta 39,72 m^2 (sala/cozinha - *Living* = 17,83 m^2; Quarto1 = 8,06 m^2; Quarto2 = 7,54 m^2; Banheiro = 4,08 m^2 e corredor de circulação entre os quartos de 2,21 m^2), com pé direito de 2,5 m. Foram definidas as zonas térmicas Living, Quarto1, Quarto2, Banheiro; com cobertura de 2 águas com ático e forro (Inclinação: 23,6º) em telhamento cerâmico; aberturas sem sombreamento, janelas do living, dormitórios e cozinha de 1,50 m² com 2 folhas e Fator de Ventilação (FV) = 0,45; basculante no banheiro com 0,48 m^2 e FV = 0,90; beiral de 50 cm; pé direito de 2,50 m e piso cerâmico de 1 cm de espessura com argamassa de regularização de 2 cm e junta.

As simulações termoenergéticas das placas cimentícias com borracha de pneus inservíveis quando aplicadas como forro de edificações foram a partir do modelo base acima descrito e adotadas as seguintes variáveis para as simulações: tipo de parede, cor da telha, tipo de forro e orientação solar (Tabela 3).

Destacam-se as características de transmitância (U) e de capacidade térmica (C) das placas cimentícias com borracha, as quais foram calculadas a partir do resultado experimental de condutividade térmica realizado através dos procedimento da norma técnica ISO 8301:2010[20], como também foi adotado a espessura de 3 cm para a placa de forro conforme a viabilidade técnica de manuseio, transporte e assentamento desta placa em uma edificação por dois trabalhadores.

Tabela 3– Variações de cobertura e paredes

Forro e Parede				Cobertura	
Componentes	Descrição	U (W/m^2. K)	C (KJ/m².K)	Cor	Absortância(α)
Forro com ático	Laje-forro maciça de concreto com espessura de 10 cm (LC)	2,05	237,5	Marfim Acrílica Fosca	0,267
	Forro de placa cimentícia com 15% de borracha de pneu com espessura de 3 cm (PCB15)	2,16	68,2	Telha Acrílica Fosca	0,708
	Forro de PVC com espessura de 1 cm (PVC)	2,08	30,0	Marfim Semi – Brilho	0,339

Parede	Parede de 13,0 cm, de blocos cerâmicos de 8 furos, com dimensões 9,0 cm x 19,0 cm x 19,0 cm com 2 cm de reboco	2,43	128,0	Telha Semi – Brilho	0,696
	Parede monolítica de concreto com 10 cm de espessura	4,40	220,0	-	-

A edificação foi simulada para a cidade de Corumbá (zona bioclimática 8), cujo o clima é peculiar na região sul matogrossense. A orientação solar considerada foi compreendida entre Norte, Noroeste e Oeste, pois Almeida (2017)[21], após realizar o estudo comparativo de carga térmica solar com alteração de variáveis de edificação em um ambiente envidraçado na cidade de Campo Grande concluiu que o maior ganho de calor (sol de verão) ocorrem nesta três orientações em ordem crescente.

A edificação foi considerada naturalmente ventilada, acontecendo 24 horas ao longo do ano, as janelas permanecem abertas, desde que a temperatura externa não seja inferior a 20ºC. A edificação foi definida em um total de quatro pessoas para ocupação, duas para cada quarto e o sistema de iluminação possui o total de 107,0 W para o Living , 78 W para os quartos e o equipamento elétrico foi disposto somente para o *Living*, num total de 26,7 W.

Deste modo, foram realizadas 72 simulações – 4 (tipo de absortância solar) x 3 (tipo de forro) x 3 (orientação solar) x 2 (tipo de parede), sendo analisado o conforto térmico por meio do graus hora de resfriamento (GHR) considerando o limite de 26ºC. Outro indicador de desempenho térmico das placas cimentícias com borracha diante as simulações foi a diferença horária alcançada com as máximas de temperatura do ar externa e interna de cada ambiente de ocupação resultando na análise de atraso térmico.

3. RESULTADOS

3.1 Estudo de dosagem

Na Tabela 4 segue a caracterização da areia e da partícula de borracha utilizada na composição das argamassas cimentícias.

Tabela 4 - Caracterização dos materiais

Materiais	Massa específica (g/m³)	Massa unitária (kg/m³)	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura
Areia	2,65	1540,00	0,60	1,16
borracha de pneu	1,32	541,17	2,36	3,31

A Tabela 5 mostrou que, independentemente do tipo de traço da argamassa, quanto maior o aumento da adição de borracha, maior foi à queda de resistência à compressão simples e a flexão, sendo significativas estatisticamente tais reduções de resistência mecânica. Tal comportamento se assemelha ao encontrado por Thomas *et al*. (2016)[22], a qual observaram uma redução nos resultados de resistência a compressão e flexão de concretos com borracha. Também, foi possível constatar uma maior incorporação de ar nos traços com maior quantidade de partículas de borracha e diminuição de sua massa específica aparente, corroborando estudos de Flores-Medina (2013)[4]e Angelin *et al*. (2017)[23].

Tabela 5 – Comportamento físico - mecânico

Tratamento	Flexão (MPa) – 7dias		Compressão[1] Média (MPa)	Massa Específica[1] (g/cm³)	Teor de Ar[1] incorporado(%)
	Prismáticos (4x4x16cm³)	Placas [1] (30x10x3cm³)			
4-0	5,6 a*	4,3	20,7	2,10	7,35
R_4-5	4,4 b	-	13,4	-	-
R_4-10	3,7 c	2,83	8,5	1,90	12,50
R_4-15	3,3 d	-	7,9	-	-
R_4-20	2,8 e	1,74	7,3	1,81	14,90
R_6-0	3,3 a	2,27	8,3	2,04	13,00
R_6-5	2,6 b	-	6,6	-	-
R_6-10	2,2 c	1,59	5,4	1,87	19,50
R_6-15	1,9 d	-	3,6	-	-
R_6-20	1,8 d	1,39	3,7	1,42	22,0

*Letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si.

A análise de variância das dosagens das argamassas cimentícias com borracha mostrou que o cimento é o fator mais relevante na eficácia das misturas em relação às resistências mecânicas. Isto ocorre porque a matriz preponderante dentro da argamassa foi o cimento e as adições de partículas de borracha não são significativas estatisticamente quando adicionado o teor máximo de 20% do volume final em relação à proporção de areia na argamassa.

3.2 Comportamento físico-mecânico das placas cimentícias com borracha

Do mesmo modo que ocorreu no estudo de dosagem, foi possível constatar na Tabela 6 maiores valores de incorporação de ar e de índice de consistência nas misturas com maior quantidade de partículas de borracha, ou seja, quanto maior foi o teor de ar incorporado, menor foi a densidade da argamassa com borracha e melhor foi a sua trabalhabilidade; características, estas, observadas também por CARASECK et al. (2008)[24] em argamassas cimentícias. Já o fato das diferenças não significativas entre os resultados de índice de vazios das misturas pode ser atribuído ao adensamento mecânico por vibração durante a moldagem das placas, a qual permitiu a saída do ar, facilitou o arranjo interno dos agregados e partículas de borracha, e consequentemente, diminuiu os vazios internos da matriz.

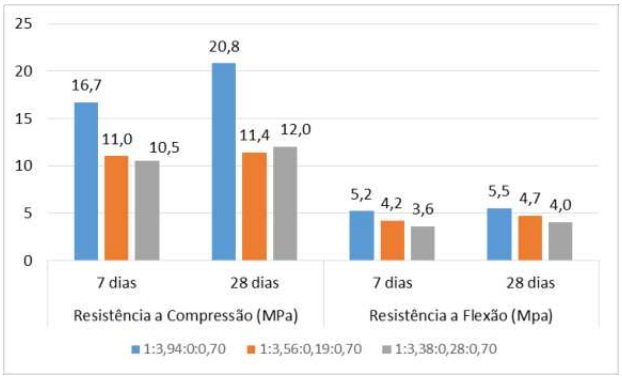
Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassas, as misturas com borracha tiveram melhor desempenho quando comparados com o traço referência (0% borracha), pois ascensão de água por capilaridade das argamassas sem borracha de pneu obtiveram subida de água em 100% no corpo de prova. O incremento na incorporação de ar nas argamassas com borracha de pneu criam microbolhas que interrompem os capilares, impedindo que a água percole por eles, assim criando um melhor desempenho (MAIO et al., 2018)[25].

Tabela 6 – Comportamento físico das argamassas

Traço Unitário (cimento: areia: borracha: A/C)	IC (mm)	Teor de ar Incorporado (%)	Absorção da água por imersão (%)	Massa específica (g/cm³)	Índice vazios (%)
1:3,94:0:0,70	216,20	9	10,21	1,84	18,79
1:3,56:0,19:0,70	226,17	11	11,10	1,73	19,20
1:3,38:0,28:0,70	242,17	16	11,80	1,69	19,92

Nota-se na Figura 2 que quando assumido o consumo de cimento de 396,89 kg/m³, as argamassas cimentícias com borracha atingiram valores maiores ou iguais a 4 MPa na resistência a flexão aos 28 dias, embora com redução significativa de resistência mecânica quando comparada a argamassa tradicional, corroborando os resultados apresentados no estudo de dosagem.

Figura 2 – Comportamento mecânico das placas



3.3 Comportamento térmico das placas cimentícias com borracha

Os valores de condutividade térmica foram de 1,17 W/mK para a argamassa referência (0% borracha), de 0,955 W/mK para a argamassa com 10% de borracha e de 0,922 W/mK para a argamassa com 15% de borracha; sendo observada redução significativa de condução térmica da argamassa com borracha quando comparada a argamassa tradicional. Isto se deve ao incremento de porosidade que favorece a diminuição da condutividade térmica nos compósitos cimentícios (SAHA, 2019)[26].

A Figura 3 apresenta os resultados dos graus horas para resfriamento (GHR) das 72 combinações e o maior valor de GHR ocorreu no quarto1, com a envoltória composta por parede de bloco cerâmico, cobertura com forro de PCB15 e orientação solar Noroeste. Independentemente do tipo de parede, a cor marfim do telhamento (α = 0,708) se mostrou significativa na composição de menor valor de GHR em todos os ambientes. Quando foi avaliado a influência do tipo de forro por ambiente de permanência, embora o forro laje de concreto esteve presente em todos os cenários com o menor valor de GHR, é possível notar que os patamares para todos os forros tiveram valores de GHR próximos, denotando um desempenho térmico semelhante dos demais forros na interação com as envoltórias parede e cobertura.

Figura 3 – Extremos do GHR para os ambientes simulados



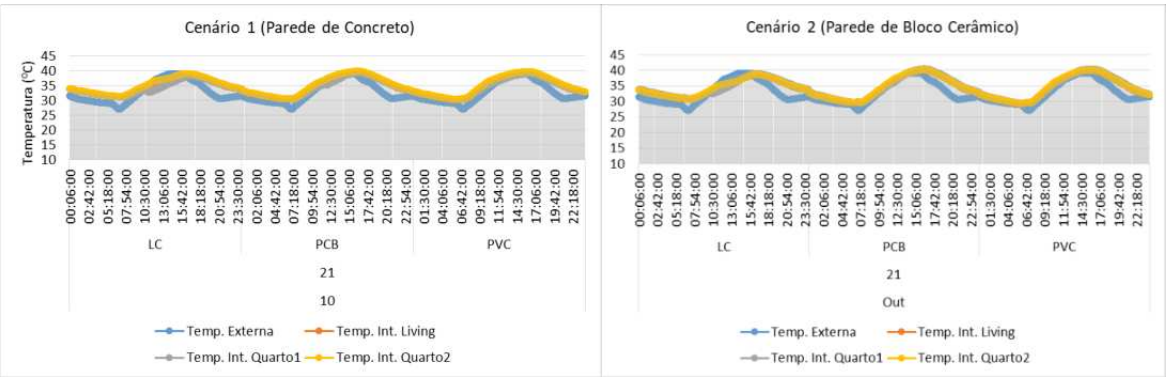
O arquivo climático utilizado foi *Typical Meteorologica Year* (TMY) com 12 meses do ano a partir de meses típicos dos anos de 2004 a 2017 de toda série de dados disponíveis resultou em um ano hipotético. Tal escolha foi devida a falta de arquivo climático com um ano típico para a cidade de Corumbá - MS.

Nas simulações foi observado que em outubro foi alcançado os maiores picos nas temperaturas para estação quente, com 40ºC para máxima e mínima de 14,9º C, resultando uma amplitude térmica de 25,1ºC. Logo, foi escolhido este período, sendo analisado o dia 21/10. Para verificar o atraso térmico proporcionado pelo tipo de forro nas zonas de ocupação, os seguintes cenários foram analisados: 1 – cobertura de telhas revestidas acrílico fosca, rotação solar com fachada voltada a Noroeste e parede monolítica de concreto; 2 - de forma análoga ao cenário 1, porém com parede de blocos cerâmicos. As escolhas destes cenários foram pela presença de maiores valores de GHR.

Para o cenário 1, a temperatura máxima externa foi às 14h00min com 39ºC e as temperaturas máximas internas ocorreram as 16h10min em todo ambiente de permanência com forro de PVC e forro de PCB15, exceto no quarto1 com laje de concreto que ocorreu as 17h00min, registrando assim, um atraso térmico para a edificação com parede de concreto de 2h10min para os forros de PVC e de PCB15 e de 3h para o forro LC. Já para o cenário 2, houve uma inversão entre os ambientes, quando foi contabilizado para quarto2 com parede de bloco cerâmico o atraso térmico de 3h com forro LC. E

para os demais forros, o atraso térmico de 2h10min para o forro de PCB15 e de 1h30min para o forro de PVC.

Figura 4 – Análise de atraso térmico



Apesar dos valores de transmitância térmica dos forros em estudo serem similares, a massa térmica dos materiais cerâmicos influenciam positivamente no ganho de horas no atraso térmico dos ambientes, sendo destacado o menor atraso térmico para o forro de PVC quando comparado ao PCB15 e LC. Assim, apesar do amortecimento térmico não ser evidenciado nos ambientes analisados, as horas de atraso térmico proporcionado pelo forro de PCB15 é relevante para o alcance de melhor conforto térmico para o usuário da edificação em vista do uso corrente e tradicional do forro de PVC.

4. CONCLUSÕES

Portanto, a dosagem adequada para fabricação de forro de placa cimentícia com borracha é o consumo de cimento de 396,89 kg/m³ e relação água/cimento de 0,70, com máximo de 15% de substituição de areia por partículas de borracha de pneu inservível na dimensão máxima das partículas de 2,4 mm com moldagem por meio de vibração. Desta forma, pode-se produzir placas pré – fabricadas com 3 cm de espessura e massa específica de 1,69 g/cm³, o que dispensa o manuseio e transporte por equipamentos pesados e atende a NBR 15495 (2016) em relação a resistência a flexão de 4 MPa para placas cimentícias de vedação. Embora há redução na condutividade térmica das placas cimentícia com borracha quando comparadas as placas de argamassa convencional, a maior influência no comportamento térmico é no ganho de horas de atraso térmico dos ambientes quando comparados aos tradicionais forros de PVC.

5. REFERÊNCIAS

1. IBAMA. **Dados estatísticos da reciclagem de pneus no Brasil**. Brasília, 3p, 2017.

2. FIKSEL, J.; BAKSHI, B. R.; BARAL, A.; GUERRA, E. & DEQUERVAIN, B. Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires. **Clean Technologies and Environmental Policies**, Article in Press, 2010.

3. GUELMINE, L.; HADJAB, H.; BENAZZOUK, A. Effect of elevated temperatures on physical and mechanical properties of recycled rubber mortar. **Construction and Building Materials**. v. 126, p. 77-85, 2016.

4. FLORES-MEDINA, D.; MEDINA, N. F. Static mechanical porperties of waste rests of recycled rubber and high quality recycled rubber from crumbed tyres used as aggregate um dry consistency concretes. **Materials and Structures**, 2013.

5. SHAH, S. F. A.; NASEER, A.; SHAH, A. A.; ASHRAF, M. **Evaluation of Thermal and Structural Behavior of Concrete Containing Rubber Aggregate** © King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia. 2014.

6. TURGUT P.; YESILATA B; Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks. **Energy and Buildings**. v. 40, p. 679- 688, 2008.

7. MICHELS, C. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2007.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregado – Determinação da massa unitária e dos volumes de vazios - Elaboração. Rio de janeiro, 2006.

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

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 52**: Agregado Miúdo – Determinação da massa específica aparente – Elaboração. Rio de Janeiro, 2009.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica – Elaboração. Rio de Janeiro, 2017

12. PINTO, N. A.; FIORITI C. F. **Desempenho de Argamassas de Revestimento Produzidas com Borracha de Pneus.** Mix Sustentável**,** 60-66, 2016

13. BENAZZOUK, A.; DOUZANE, O.; MEZREB, K.; LAIDOUDI, M.; QUÉNEUDEC, M. Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modellig**.** **Construction and Building Materials**. v. 22. P. 573-579, 2008.

14. CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; DE ANGELIS, G. **A Utilização de Resíduos de Pneus Inservíveis em Argamassa de Revestimento.** Acta Scientiarum 29, 141-149, 2007.

15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento- Resistência à tração na flexão e a compressão – Elaboração. Rio de Janeiro, 2013

16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento ar incoporado - Elaboração. Rio de Janeiro, 2005.

17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9979:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – Elaboração. Rio de Janeiro, 2005

18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15498:** Placas de fibrocimento sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio – Elaboração. Rio de Janeiro, 2016.

19. TRIANA, A.M; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 524-541, 2015.

20. INTERNATIONAL ORGANIZATINO FOR STANDARDIZATION. **Thermal insulation – Determinatio of steady – state thermal resistance and related properties** – Heat flow meter apparatus: ISO 8301, 1991.

21. ALMEIDA, O. F. L. **Análise comparativa de cargas térmicas solares em fachada envidraçada para estudo em eficiência energética.** Dissertação (Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós – Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilida – PPGES. Campo Grande, 2017.

22. THOMAS, B. S.; GUPTA, R. C. Properties of hogh strength concrete containing scrap tire rubber**. Journal of Cleaner Production**. v. 113, p. 86-92, 2016.

23. ANGELIN, A. F. ; LINTZ, R. C. C.; GACHET-BARBOSA, L. A. ; OSÓRIO, W. R. The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar (with recycled rubber). **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 534-545, 2017.

24. CARASECK, H. et al. **Influência da Umidade nas Propriedades dos Revestimentos de Argamassa**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 2008.

25. MAIO, L. D; COPPOLA, B.; MICHEL, L. C. F.; INCARNATO, L.; SCARFATO, P. Data on thermal conductivity, water vapour permeability and water absorption of a cementitious mortar containing end-of-waste plastic aggregates. **Data in Brief**. v.18. P. 1057-1063, 2018.

26. SAHA, A. K.; SARKER, P. K.; GOLOVANEVSKIY, V..Thermal properties and residual strength after high temperature exposure of cement mortar using ferronuckel slag aggregate. Construction and Building Materials. v. 199, p. 601-612, 2019.