PRODUÇÃO DE PLACAS CIMENTÍCIAS COM BORRACHA DE PNEU INSERVÍVEL PARA USO EM FORROS DE HABITAÇÕES

S. GARCIA DE FREITAS, Enilda Maria (1); S. TOSTA, Douglas (2); GÜTHS, Saulo (3); S. MILANI, Ana Paula (4)

(1) Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade, UFMS, Campo Grande, MS, enilda.msgfreitas@gmail.com;

(2) Engenharia Civil, UFMS, Campo Grande, MS, douglastosta85@gmail.com;

(3) Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, SC, saulo@lmpt.ufsc.br;

(4) Engenharia Civil, UFMS, Campo Grande, MS, ana.milani@ufms.br

Resumo: *Em busca de ações mitigadoras para o problema de acúmulo indiscriminado de resíduos industriais, o reuso de borracha de pneus inservíveis tem-se mostrado uma alternativa para a construção civil sob o aspecto de contribuição de materiais construtivos mais sustentáveis. A partir disso, produtos cimentícios com borracha de pneus inservíveis sem função estrutural tem ganhado versões para a aplicação em sistemas construtivos devido 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 vedação com características de isolamento térmico de edificações. Após a caracterização física dos materiais e estudo de dosagem do compósito cimentício com resíduos de borracha, foram realizados ensaios de resistência à flexão e compressão, absorção de água, densidade e condutividade térmica; e verificados métodos de moldagem para a fabricação de placas para uso como forro de cobertura de habitações. Foram encontrados resultados que validam a utilização de traços de argamassa cimentícia com até 15% de adição de borracha de pneus inservíveis, o que a torna um produto com menor massa específica, tecnicamente viável para aplicação como placas pré-fabricadas e potencial desempenho térmico ao compará-lo com placas de argamassas cimentícias convencionais.*

Palavras-chave: placas cimentícias, isolamento térmico, argamassa com borracha de pneu, processo vibrado.

Área do Conhecimento: *Engenharia civil, Materiais e componentes da construção, Tecnologia de componentes para construção.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil aproximadamente 60% dos pneus inservíveis são destinados ao coprocessamento, que consiste na utilização de pneu triturado para fonte de calor em cimenteiras (IBAMA, 2017). O coprocessamento, embora seja uma destinação ambientalmente correta, este manejo 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). Assim, o reuso 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.

Dessa forma, são necessárias 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).

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) e Turgut et al. (2008) 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.

Portanto, obter uma mistura e um processo de produção adequado de argamassa adicionada de borracha de pneus inservíveis para a confecção de placas de forro 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 de pneus, sem nenhum processo de lavagem ou tratamento físico ou químico da superfície. Tem-se na Tabela 1, a caracterização física da areia e da partícula de borracha utilizada na confecção das argamassas.

Tabela 1 – Características dos materiais

Materiais	Massa específica (g/m^3)	Massa unitária (g/cm^3)	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura
Areia	2,65	1,54	0,60	1,16
Partículas de borracha de pneu	1,32	0,54	2,36	3,31

Fonte: Autores (2019)

2.1 Produção e caracterização das argamassas

O estudo de dosagem foi baseado na pesquisa realizada por Tosta et al. (2018) em argamassas com borracha de pneu inservível e nos resultados obtidos por Benazzouk et al. (2008) que constatou perdas significativas na resistência mecânica em compósitos cimentícios com adições de borracha acima de 20%. Contudo, para atender o menor consumo de cimento aliado maior adição de borracha e a resistência de tração na flexão mínima de 4 MPa de placas cimentícias para vedação apontada pela NBR 15498 (2016) foram adotadas as dosagens apresentadas na Tabela 2. Sendo assim, os teores de borracha incorporado foram em substituição ao volume de areia, correspondendo aos teores de 0%,10% e 15%.

Tabela 2 – Dosagem das argamassas adotadas

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

Fonte: Autores (2019)

Para cada traço de argamassa, no estado fresco das misturas, foram avaliadas teor de ar incorporado (AI) e índice de consistência (IC) segundo normativas brasileiras. Já no estado endurecido, foram realizados os ensaios físicos de absorção, índice de vazios, capilaridade e massa específica das argamassas conforme descrições das normativas brasileiras.

A avaliação da resistência à tração na flexão foi realizado em placas de argamassas aos 7 e 28 dias de cura úmida, sendo as mesmas produzidas nas dimensões de 30 cm de comprimento x 10 cm de largura x 3 cm de espessura, a partir da NBR 13279:2005, com o vão adotado de 20 cm entre os apoios inferiores (2 cutelos) da máquina de ensaio.

Como complementação da caracterização das argamassas, foi realizada a determinação da condutividade térmica (λ) seguindo o procedimento da norma técnica ISO 8301:2010, a partir da moldagem de placas com dimensões de 30 cm x 30 cm e com espessura de aproximadamente 6 cm.

2.2 Processo de fabricação das placas

Para avaliar o efeito dos procedimentos de moldagem na resistência físico-mecânica das placas cimentícias com borracha de pneus inservíveis, foram explorados três métodos no processo de fabricação das placas com as argamassas a seguir. Em todos estes processos, a desmoldagem ocorreu após 24h e a cura das placas foi via úmida com posterior aplicação, aos 7 dias, dos ensaios de resistência à tração na flexão de forma análoga a caracterização das argamassas. A dosagem da Tabela 2 foi utilizada para a fabricação das argamassas, ressaltando que para atender o processo de lançamento e de prensagem foi necessário o ajuste da relação a/c.

Lançamento: o processo consistiu em lançar a argamassa no molde, preenchendo através do espalhamento manual interno da fôrma e em seguida foi rasada a superfície. Entretanto, para adequar a consistência mais fluida e garantir o espalhamento homogêneo no molde, foi necessário aumentar a relação água/cimento para 0,8 (Figura 1, item a).

Vibrada: a metodologia consistiu na distribuição da argamassa na fôrma, realização do adensamento mecânico através da mesa vibratória, sendo que o tempo de vibração foi controlado através do surgimento de bolhas de ar a superfície da argamassa (Figura 1, item b).

Prensagem: o procedimento consistiu em introduzir e distribuir a argamassa em toda área da fôrma. Após a moldagem foi aplicada a prensagem uniaxial em uma prensa hidráulica com carga média de 9 kN para o traço de argamassa sem borracha de pneu e 7 KN para as argamassas com borracha de pneu. O tempo foi em média 60 s e 74 s, respectivamente para os traços sem borracha e com borracha de pneu. E para melhor conformação nos moldes, houve a redução da relação água/cimento para 0,23 (Figura 1, item c).

Figura 1 – Processos de fabricação das placas



a) lançamento b) vibrada c) Prensagem

Fonte: Autores (2019)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O comportamento físico das argamassas estudadas está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – 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

Fonte: Autores (2019)

Foi possível constatar a partir da Tabela 3 uma maior incorporação de ar nos traços com maior quantidade de partículas de borracha, ocorrendo o mesmo com o índice de consistência (IC). Quanto maior for o teor de ar incorporado, menor será a densidade da argamassa e melhor será sua trabalhabilidade (CARASECK et al., 2008). De modo geral, os traços com borracha de pneu apresentaram maior porcentagem de índice de vazios, embora com diferenças não significativas nos resultados. Isto se deve ao incremento da porosidade na

argamassa causada pelo o aumento de retenção de ar (SHAH et al., 2014).

Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassas, os traços com borracha tiveram melhor desempenho, quando comparados com o traço referência (0% borracha). Foi analisada a ascensão de água por capilaridade das argamassas e foi verificada que as argamassas sem borracha obtiveram subida de água em 100% no corpo de prova. O incremento na incorporação de ar na argamassa com borracha de pneu cria microbolhas que interrompem os capilares, impedindo que a água percole por eles (MAIO et al., 2018).

Nota-se na Tabela 4, quando assumido o consumo máximo de 396,89 kg/m³, os traços adotados atingiram valores superiores a 4 MPa na resistência a flexão aos 28 dias de idade, embora com redução de resistência mecânica. Esta redução, independente do tipo do traço da argamassa, quanto maior o aumento de incorporação de borracha, maior será o decréscimo nas resistências à compressão simples e a flexão, sendo significativas tais reduções mecânicas (ANGELIN et al., 2017).

Tabela 4 – Comportamento mecânico das argamassas

Traço Unitário (cimento:areia:borracha:a/c)	Compressão (MPa)		Flexão (MPa)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
1:3,94:0:0,70	16,7	20,8	5,2	5,5
1:3,56:0,19:0,70	11,0	11,4	4,2	4,7
1:3,38:0,28:0,70	10,5	12,0	3,6	4,0

Fonte: Autores (2019)

Os resultados de condutividade térmica foram 1,17 W/mK para a argamassa referência (0% borracha), 0,955 W/mK para os traços com 10% de borracha e 0,922 W/mK para as argamassas com 15% de borracha; havendo redução significativa de condução térmica da argamassa com borracha quando comparada a argamassa tradicional. Isto se deve ao incremento de porosidade (macroporos) que favorece a diminuição da condutividade térmica (SAHA, 2019).

3.1 Processo de fabricação das placas de argamassa

As moldagens das placas realizadas por meio de vibração e de lançamento apresentaram comportamento físico-mecânico semelhante, independente do teor de borracha (Quadro 1). Já para as placas moldadas por prensagem houve uma redução significativa dos valores de resistência à flexão. Para as placas prensadas foi necessário a adoção da relação a/c de 0,23 para alcançar uma moldagem sem exsudação, e embora o consumo de cimento aumentasse, a quantidade de água não foi o suficiente para garantir a sua hidratação. Também, destaca-se que a perda de resistência nas placas prensadas quando comparadas aos demais processos esta atribuída ao seu aumento dos índices de vazios, pois o adensamento mecânico vibrado permite a saída do ar, facilita o arranjo interno dos agregados e consequentemente diminui os vazios internos da matriz.

Quadro 1 – Caracterização das placas

Teor borracha	Tipo de Moldagem	IC (mm)	AI (%)	Absorção d'água (%)	Massa específica (g/cm³)	Índice vazios (%)	Flexão (MPa)
0%	Vibrada	216,20	11	10,21	1,84	18,79	5,2
	Lançada	264,50	12	10,68	1,84	19,70	4,6
	Prensagem	-	-	22,59	1,67	37,50	1,6
10%	Vibrada	226,17	13,0	11,10	1,73	19,20	4,2
	Lançada	267,23	13,5	11,65	1,73	20,16	3,8
	Prensagem	-	-	26,22	1,53	40,04	0,7
15%	Vibrada	242,17	13,0	11,80	1,69	19,92	3,6
	Lançada	270,33	13,5	11,88	1,68	20,00	3,8
	Prensagem	-	-	23,70	1,56	37,09	0,8

Fonte: Autores (2019)

4 CONCLUSÃO

A argamassa com 15% de resíduo de borracha de pneu confere o valor de resistência à flexão pretendida de 4 MPa e reduz cerca de 21% da condutividade térmica quando comparada a argamassa convencional, trazendo assim, uma proposta de um material mais leve e com melhor resistência térmica. Portanto, forros de placas cimentícias com 15% de borracha de pneu inservíveis fabricadas a partir do processo de vibração é um componente que pode contribuir no desempenho térmico em moradias, e consequentemente na eficiência energética da edificação. Ressalta-se que a realização de ensaios como resistência a abrasão e análise microestrutural sobre a aderência entre partículas de borracha de pneu e matriz cimentícias são necessários para a verificação da durabilidade deste material alternativo de vedação.

5 REFERÊNCIAS

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

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.

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.

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

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

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.

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

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.

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.

SHAH, S. F. A.; NASEER, A.; SHAH, A. A.; ASHRAF, M. Evaluation of Thermal and Structural Behavior of Concrete Containing Rubber Aggregate. **Arabian Journal for Science and Engineering**, Saudi Arabia. 2014.

TOSTA, Douglas Sousa; FREITAS, Enilda Maria da Silva Garcia; MILANI; Ana Paula. **Estudo de compósitos cimentícios com resíduos de borracha de pneus inservíveis para fabricação de placas de vedação de habitações**. IntegraUFMS 2018, Campo Grande, 2018.

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