



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ENGENHARIAS 2020

TÍTULO: UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PNEU NA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Leonardo Augusto Tognetti e Larissa Furlan

Candida Maria Costa Baptista M.a.

Universidade São Francisco

tog.leo57@gmail.com - larissa.furlan@outlook.com

¹Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

²Professor Orientador Candida Maria Costa Baptista, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo.

Com a possibilidade de transformar resíduos de borracha de pneu inservível, em subprodutos para utilização na construção civil, foi levantada uma pesquisa em torno do assunto para coletar dados que comprovem os efeitos no desempenho térmico e acústico das edificações, da mistura desse subproduto, na argamassa utilizada para revestimento (reboco), além dos efeitos térmico e acústico, o foco do trabalho é o meio ambiente, tendo em vista que o tempo de vida desse subproduto em nosso planeta é longo e o seu descarte indevido prejudica o meio ambiente, além de trazer diversos riscos à saúde pública. Nessa pesquisa teve como base trabalhos já realizados sobre o assunto, na maioria deles obteve-se bons resultados no que se diz respeito ao desempenho das edificações, apontado na NBR 15575/2013, que dita parâmetro e valores que adequados para se ter um bom desempenho acústico e térmico das edificações. Nesses trabalhos o método de utilização do resíduo de borracha de pneu inservível, foi na substituição de uma porcentagem dos agregados miúdos por borracha de pneu na mistura da argamassa ou concreto.

Palavras-chave: Pneu inservível, resíduos, argamassa, desempenho, sustentabilidade.

Introdução

Segundo dados da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP,2017), nos 4 primeiros meses do ano de 2017 já tinham sido produzidos cerca de 22,6 milhões novos pneus, esse número supero em 1,8% do produzido em 2016. Por outro lado, o descarte desse pneu quando se torna inservível ainda é inadequado.

Esse resíduo quando mal descartado causa poluição no solo, ar, lençóis freáticos, além do risco a saúde publica por servir como abrigo para insetos e animais transmissores de doença, outro ponto ruim em relação a isso é que os materiais contidos em sua composição são de difícil decomposição no meio ambiente. O rejeito de borracha é classificado como resíduo classe III – inerte, por não conter metais pesados, não sofrer lixiviação e não ser solúvel em água (ABNT, 2004).

Na busca por soluções que aprimorem o desempenho das edificações, e levando em consideração a problemática dos descartes indevidos de pneus e seus prejuízos ambientais e sanitários, diversos pesquisadores investigaram o uso de pneus inservíveis com o intuito da utilização em sistemas de impermeabilização, pavimentos de asfalto e revestimentos de membrana. Segundo fontes de pesquisa a forma de se reciclar esse resíduo, seria na incorporação do mesmo nas misturas cimentícias, esse resíduo substituiria uma parte do agregado miúdo. Alguns resultados mostram que o concreto emborrachado possui menor densidade, maior tenacidade e ductilidade, menor resistência à compressão e à tração e isolamento acústico mais eficiente (SIDDIQUE et al., 2008).

As pesquisas em relação a esse tema ainda são pouquíssimas, porém as já realizadas mostram resultados interessantes analisando diversos aspectos e propriedades quando comparado com a mistura de referências das pesquisas realizadas.

Para a comparação de dados e resultados, foram escolhidas três pesquisas principais e outras secundária para completar a pesquisa, as pesquisas principais foram “Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu”, por Deyse Crhistina Barbosa Macedo e Rejane Maria Candiota Tubino da Federal de Goiás, o segundo foi “Uso de resíduo de pneus inservíveis em substituição ao agregado fino em argamassa de revestimento”, por pesquisadores da Engineering Sciences e a terceira foi “INFLUÊNCIA DE FIBRAS DE BORRACHA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MÊCANICAS E TÉRMICAS EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO”, por Cíntia Slaiffer da Universidade do Vale do Taquari.

Pesquisas anteriores.

NACIF (2012), realizou uma pesquisa que teve como objetivo estudar os impactos causados na mistura de compósitos cimentício com resíduos de borracha, em frações de 0,84/0,58 mm e 0,28/0,18 mm, frações em massa na ordem de 5%, 15% e 30% e relação água/cimento de 0,35 e 50. Tendo como foco da avaliação as propriedades físicas e mecânicas, testou-se que a interação das partículas de borracha por conta do seu tamanho, quantidade presente na mistura, e a relação A/C compromete significativamente na densidade e resistência da mistura. Sendo assim quando a fração de borracha foi se elevando a densidade diminuiu, com tudo essa baixa densidade se mostra vantajosa para a produção de produtos com isolantes térmico e acústico, Nacif et al. (2012).

Já uma pesquisa realizada em 2015 que teve como foco, estudar a resistência e porosidade em pasta de cimento e argamassa utilizando resíduos de borracha, foi constatado que o aumento da porosidade teve como resultado a diminuição da resistência, logo a relação porosidade/resistência é inversa. No entanto o estudo apontou que essa mistura contendo 5% de borracha apresenta propriedade relevantes para vários usos na engenharia, ANGELIN et al. (2015)

Material e Métodos

Materiais.

Para ambas as pesquisas os materiais básicos utilizados foram a areia, cimento e o resíduo de borracha triturado, a pesquisa número um teve também como matéria prima brita, pois se trata de placas cimentícias de pré-moldado.

No que se diz respeito a massa específica e unitárias dos materiais base utilizados na pesquisa, a tabela 1 indica alguns desse valores obtidos nas pesquisas.

Tabela 1.

	Pesquisa 01	Pesquisa 02	Pesquisa 03
Características da areia	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: 2,64 g/cm³ • Massa unitária: - 	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: 2,625 g/ml • Massa unitária: 1,51 g/ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: • Massa unitária: 1,533 g/cm³
Características do cimento	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: - • Massa unitária: - 	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: 2,857 g/ml • Massa unitária: - 	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: 2,806 g/cm³ • Massa unitária:-
Características da borracha	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: 1,11 g/cm³ • Massa unitária: 	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: 1,11 g/ml • Massa unitária: 0,343 g/ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Massa específica: 1,08 g/cm³ • Massa unitária: 0,349 g/cm³

Fonte: Autor próprio, mas obtida a partir de consulta de referências bibliográficas, Macedo e Tubino (2005), Torres et al. (2016) e Cíntia (2019).

O cimento utilizado nas pesquisas foi o CPIV – 32, que teve como massa específica as indicadas na tabela 1.

Em relação as características da borracha utilizadas, em ambos a borracha é proveniente de pneu inservível de veículos de transportes, esse resíduo é tratado de modo que seja retirada toda sua estrutura (arame), em sua composição até se obter simplesmente o resíduo de borracha apenas, em uma das pesquisas a borracha após se triturada e peneiradas foi tratada com hidróxido de sódio comercial, retirar toda impurezas orgânicas existente em virtude da sua origem, esse tratamento também serviu para aumentar a hidroflicidade do material. Já me outra pesquisa a borracha além do tratamento de limpeza de sua estrutura interna, após a trituração e peneiramento a borracha foi lava apenas com água e secada no sol disposta em um plástico como na figura 1.

Figura 1 – Borracha secando ao sol.



Fonte: Macedo e Tubino (2005).

Para possibilitar a homogeneização da mistura a modo que ela possa ser utilizada como argamassa de revestimento e para a moldagem de placas de pré-moldado, esse resíduo passou por um processo de peneiramento, as peneiras utilizadas e granulometrias obtidas e são contidas na tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Dimensão dos grãos de borracha.

	Peneira passante
Pesquisa 01	4,8 mm
Pesquisa 02	1,2mm (retida em 0,6mm)
Pesquisa 03	2,36mm

Fonte: Próprio autor.

Traços e medições.

Como se trata de pesquisas diferentes, em cada experimento foi utilizado uma dosagem na argamassa ou concreta para a montagem do CP, além disso, cada pesquisa contém um traço como referência que na mistura não contém o resíduo da borracha de pneu como parte da mistura. Outro ponto que diferencia as pesquisas, foram as medições e ensaio realizados, porém ambas contêm ao menos um ensaio ou mais como base de pesquisa de nosso trabalho. Nas tabelas a seguir serão apresentados os traços utilizados nas misturas.

A primeira pesquisa diferente das outras, se trata de placas de pré-moldado, por isso em sua mistura à adição de brita, na tabela número segue os traços utilizados.

Figura 2 – Dosagens pesquisa 1.

Dosagens (kg/m ³)	Cimento	Areia natural	Areia artificial	Borracha	Brita 0	Água
Referência	274	288	674	-	820	214
5% de borracha	271	271	630	20	808	210,9
10% de borracha	269	256	595	40,4	804,3	209,8
15% de borracha	262	234	551	58	788	205

Fonte: Macedo e Tubino (2005).

Nesse trabalho, para a análise das propriedades mecânicas nas matrizes cimentícias, foram testadas placas com 3, 7, 28 e 91 dias, a partir disso foi escolhido a matriz e tratamento superficial da borracha adequado para a confecção das placas. O cobrimento das placas respeitava o mínimo exigido por norma para placas de pré-moldado, sendo de 1,5 cm.

As placas que passaram pelo teste de resistência ao fogo e na câmara de reverberação, tinham 1,10 m x 0,5m x 0,05m. As placas possuíam um encaixe tipo macho-fêmea. Nesse trabalho foram analisadas duas características das placas, seu isolamento acústico e resistência ao fogo, indo ao ponto que nos interessa que seria o isolamento acústico. O experimento foi realizado dentro de uma câmara de reverberação, esse ensaio aponta o nível de desempenho acústico da peça no caso, quando submetida a ruídos laterais ou frontais, caso de uma casa germinada.

Os parâmetros medidos nessa experiência é o nível de pressão sonora, o índice de redução sonora e tempo de reverberação, nas figuras e na tabela a seguir, mostrara como o ensaio e realizado e as medições contidas em cada setor desse experimento.

Figura 3 – Analisador de dados.



Fonte: Macedo e Tubino (2005).

Figura 4 – Vista geral da câmara.



Fonte: Macedo e Tubino (2005).

Figura 5 – Parâmetros medidos.

Sala da Fonte	Sala Receptora	Tipo de ruído
L1 – Nível de pressão sonora	L 2 - Nível de pressão sonora	branco
-	B 2 – Ruído de fundo	-
-	T – Tempo de reverberação	rosa

Fonte: Macedo e Tubino (2005).

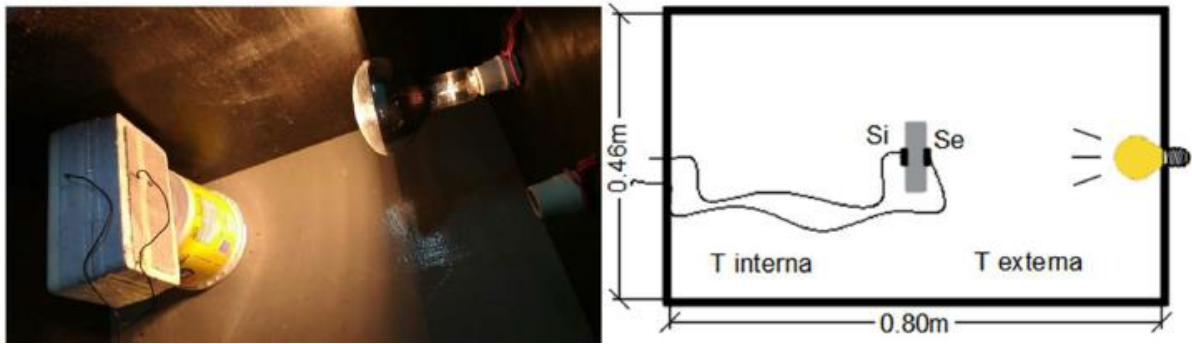
Para a realização do ensaio o emissor de ruídos ficou ligado em um lado da câmara, enquanto no lado receptor era medido o nível de redução sonora da peça.

No trabalho número 2 os o traço utilizado foi o comum em argamassa utilizada para revestimento, esse traço é 1:3, sendo substituído 15% e 25% da massa de areia pelo volume equivalente de borracha triturada. O índice de consistência da argamassa de revestimento, segundo NBR 13276/2016, deverá ser de $255\text{mm} \pm 10\text{mm}$. Com base na quantidade de água adicionada na mistura é calculado o fator a/c para argamassa de referência, substituições de 15% e 25%. Os resultados obtidos foram 0,70 e 0,63, respectivamente.

Na pesquisa 2 no que se diz respeito a ensaios realizados temos o de resistência a compressão e atraso térmico, para o ensaio de resistência compressão, os procedimentos foram realizados como determina a NBR 13279/2005, foram moldados 4 cilindros de 5cm x 10cm para cada traço, e curado durante 21 dias ao ar ate o ensaio.

Já o atraso térmico consiste no tempo decorrido de variação térmica em um entre faces oposta de um ambiente, quando uma delas é submetida a uma a temperaturas em uma certa quantidade de tempo. O método utilizado na realização desse teste foi o seguinte, foi construído uma caixa de madeira com 46cm (altura) x 60cm (largura) x 80cm (comprimento) com 1 fonte de luz emanando calor, uma lâmpada. Para cada traço utilizado foi construído uma placa de com dimensões de 11cm (largura) x 19,5cm (comprimento) x 3cm (espessura). A medição foi realizada utilizando sensores internos (Si) e externos (Se) conectados as faces feitas com a argamassa, as demais faces foram isoladas com isopor para se obter um isolamento térmico e não haver perda de calor por essas faces. Foi coletado as temperaturas internas e externas das faces transversais de cada placa no tempo inicial (t_0) e nos tempos (t_i) de 1min, 2min, 3min, 4min, 5min, 10min, 15min, 20min, 25min, 30min, 35min e 40min. Na figura a seguir mostra o esquema utilizado na medição.

Figura 6 – Ensaio de atraso térmico.



Fonte: Torres et al. (2016).

Por fim, a pesquisa número 3, para a realização da pesquisa foram ensaiados 3 traços diferentes, sendo eles 1:3, 1:5 e 1:7 (cimento: areia), esses ensaios teve como finalidade analisar as argamassas de chapisco e reboco para se obter um traço de referência. Após a definição do traço referência, foram confeccionados traço que substituíam o agregado natural (areia) por resíduos de borracha, essa substituição seguia a proporção de 5%, 10% e 15%.

Dentre os três trabalhos, esse é o que mais fez testes diferentes com as argamassas, sendo assim se tornando a pesquisa mais completa. Como referência no trabalho será analisado apenas o teste de resistência a compressão e avaliação das propriedades térmicas da argamassa utilizado no reboco. Na tabela a seguir é apresentado os traços da argamassa de referência e os traços do experimento.

Figura 7 – Traços.

Materiais	1:5 (REF.)	5% borracha	10% borracha	15% borracha
Água (l)	4,47	4,08	4,80	4,65
Areia (Kg)	22,05	22,05	22,05	22,05
Cimento CP IV (Kg)	4,41	4,41	4,41	4,41
Borracha (Kg)	0	1,48	2,96	4,44
A/C	1,01	0,93	1,09	1,05

Fonte: Cíntia (2019).

No ensaio a compressão realizado seguiu a NBR 13279 (ABNT, 2005), os corpos de prova foram rompidos com 28 dias de idade, para cada traço analisado foram produzidos 3 corpos-de-prova prismáticos medindo 4 cm x 4cm x 16 cm. Na imagem a seguir mostra como foi realizado o ensaio a compressão.

Figura 8 – Ensaio de compressão.



Fonte: Cíntia (2019).

As propriedades térmicas do experimento, foi medido por uma datalog, durante um mês exposto a ambiente externo, essa datalog coletava dado de temperatura e umidade durante 24 horas com o intervalo de 1 hora entre uma medição e outra. Nas figuras 6 e 7 é mostrado o datalog utilizado e os corpos de provas ensaiados.

Figura 9 – DATALOG



Fonte: Cíntia (2019).

Figura 10 – Corpos de prova.

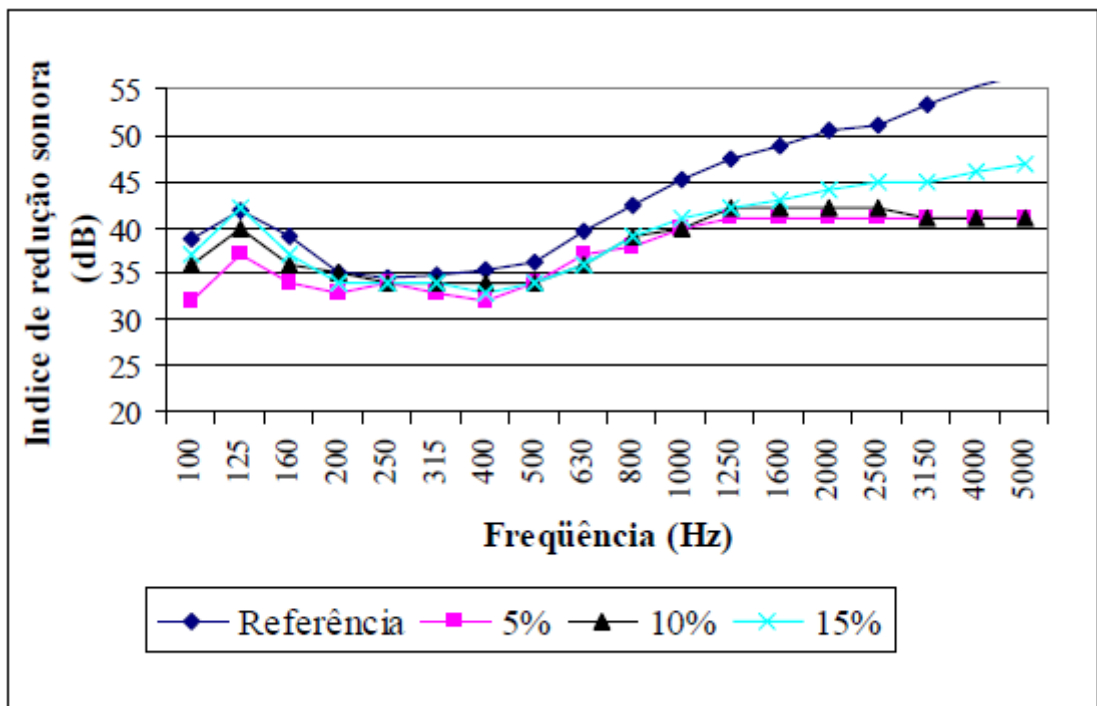


Fonte: Cíntia (2019).

Resultados e Discussão

Na primeira pesquisa citada, foram ensaiados quatro CP no ensaio de diminuição sonora na câmara de reverberação, após ser realizado os testes no corpo de prova, foi mostrado que os corpos de prova que tem como base a matriz cimentícia com a mistura da borracha, conforme o teor do resíduo era aumentado, o índice de redução sonora aumentava consequentemente, nas frequência inferiores a 150 dB e superior a 1250 dB. Nas frequências graves (125Hz a 250Hz) e médias (500Hz a 1000Hz), os CPs com o traço de referência e os Cps com o 15% de borracha em sua mistura mostraram valores muito próximos no índice de redução sonora. No gráfico a seguir mostrado pela imagem, mostra os valores obtidos após os testes realizados.

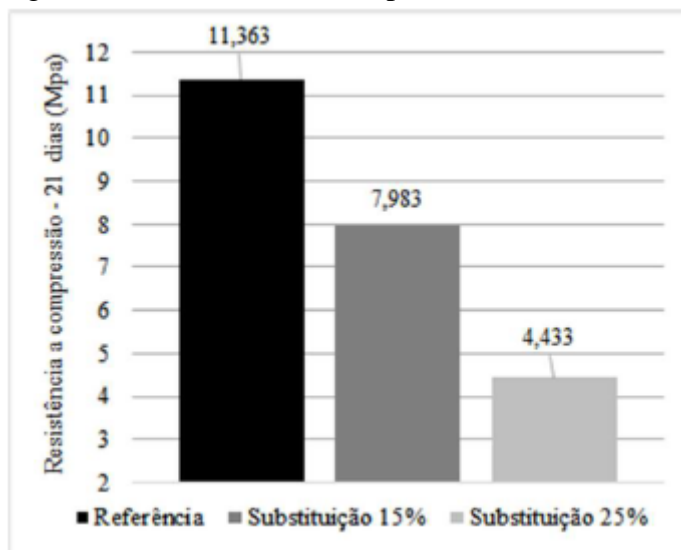
Figura 11 – índice de redução sonora x frequência.



Fonte: Macedo e Tubino (2005).

Na segunda pesquisa como dito foram feitos alguns testes porem apenas dois deles interessaram a nossa pesquisa, o ensaio a compressão e o ensaio de avaliação térmica dos CPs, nos ensaio as compressão foi constatado que as argamassa que tinham resíduo em sua mistura obteve um perca na resistência a compressão quando comparado com a argamassa de referência, esse Cps foram ensaiados com 21 dias após sua confecção. Na pesquisa a argamassa de referencia obteve 11,36 Mpa no teste de resistência a compressão, já as argamassas com a mistura obtiveram uma medição de 29,75% e 60,99% a menos para as argamassas com 15% e 25% de borracha. Segundo dados da pesquisa, estudos anteriores também indicaram redução na resistência a compressão com o aumento de borracha, além de influência do tamanho, proporções e texturas da superfície da borracha (YILMAZ et al., 2009). No gráfico a seguir e apresentado a resistência atingida pela argamassa de referência e as argamassas com 15% e 25% de borracha na sua mistura.

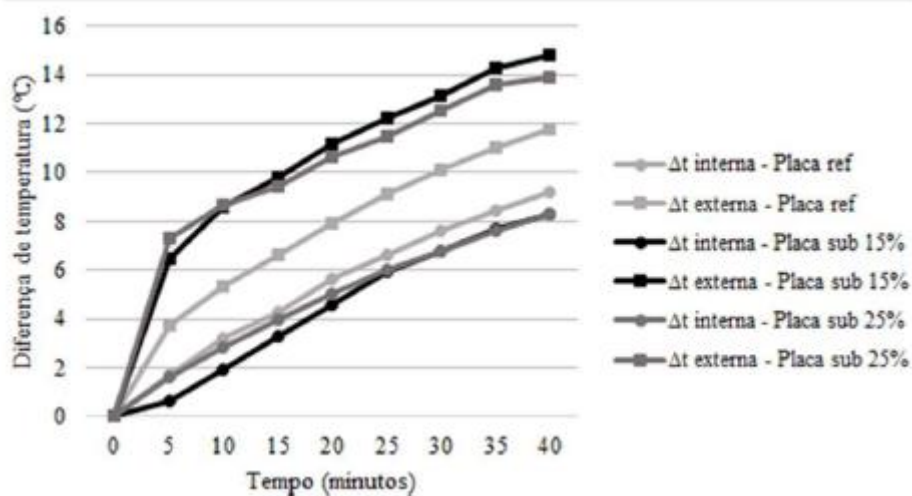
Figura 12 – Resistência a compressão dos CPs.



Fonte: Torres et al. (2016).

Ainda na segunda pesquisa o item abordado foi a avaliação térmica, ao contrario do teste de resistência a compressão, esse ensaio trouxe resultados positivos para as argamassas com mistura de borracha em relação a argamassa de referência. Os estudos mostraram que a variação de temperatura ($\Delta t_{ext} - \Delta t_{int}$) é menos para a argamassa de referencia levando a uma maior transmissão de calor para esse traço. Nas medições as argamassas de referência apresentou uma diferença de 2,6 graus em um tempo de 40 minutos, com isso mostra que sua condutividade térmica é maior em relação aos outros traços, caracterizando que a variações de temperatura entre o interior e exterior é transmitida com mais facilidade. Nas argamassas com substituição houve uma leve diferença entre as medições, onde mostrou que a argamassa com 15% obteve uma variação levemente superior quando comparada com a de 25% de borracha, mostrando que com maior quantidade aumenta a redução de calor e reduz a transmitância de calor de uma face para outra. A seguir na figura, é mostrado um gráfico com o resultado desses testes para cada traço.

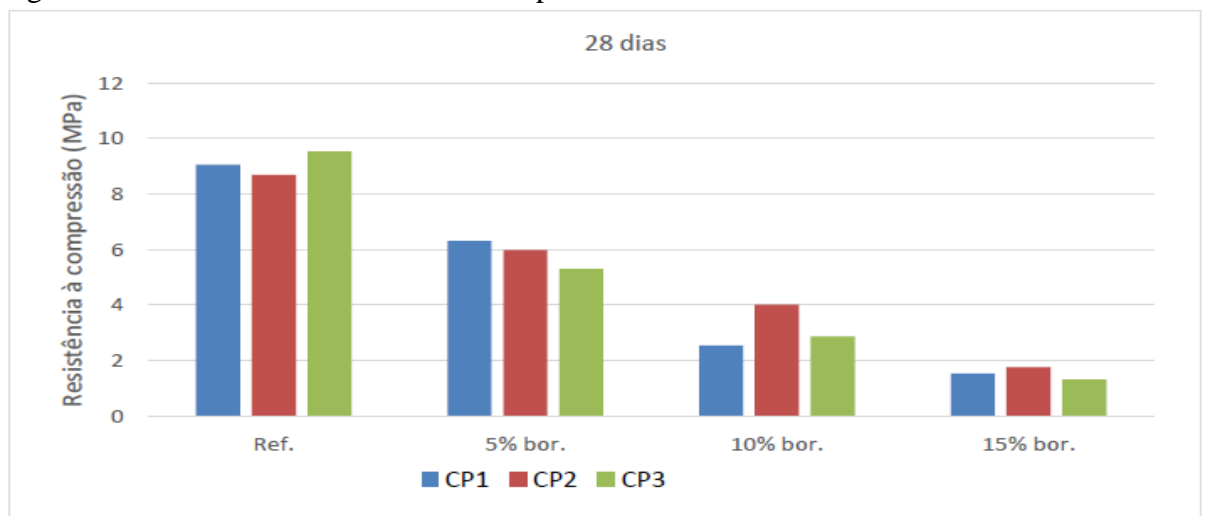
Figura 13- transmissão de calor x tempo.



Fonte: Torres et al. (2016).

No ultimo trabalho como dito, o mais completo, foi escolhido analisar os resultados obtido em relação a resistência a compressão e as propriedades térmicas da argamassa de revestimento com adição de borracha. No gráfico a seguir é mostrado os dados obtido no ensaio a compressão dos CPs.

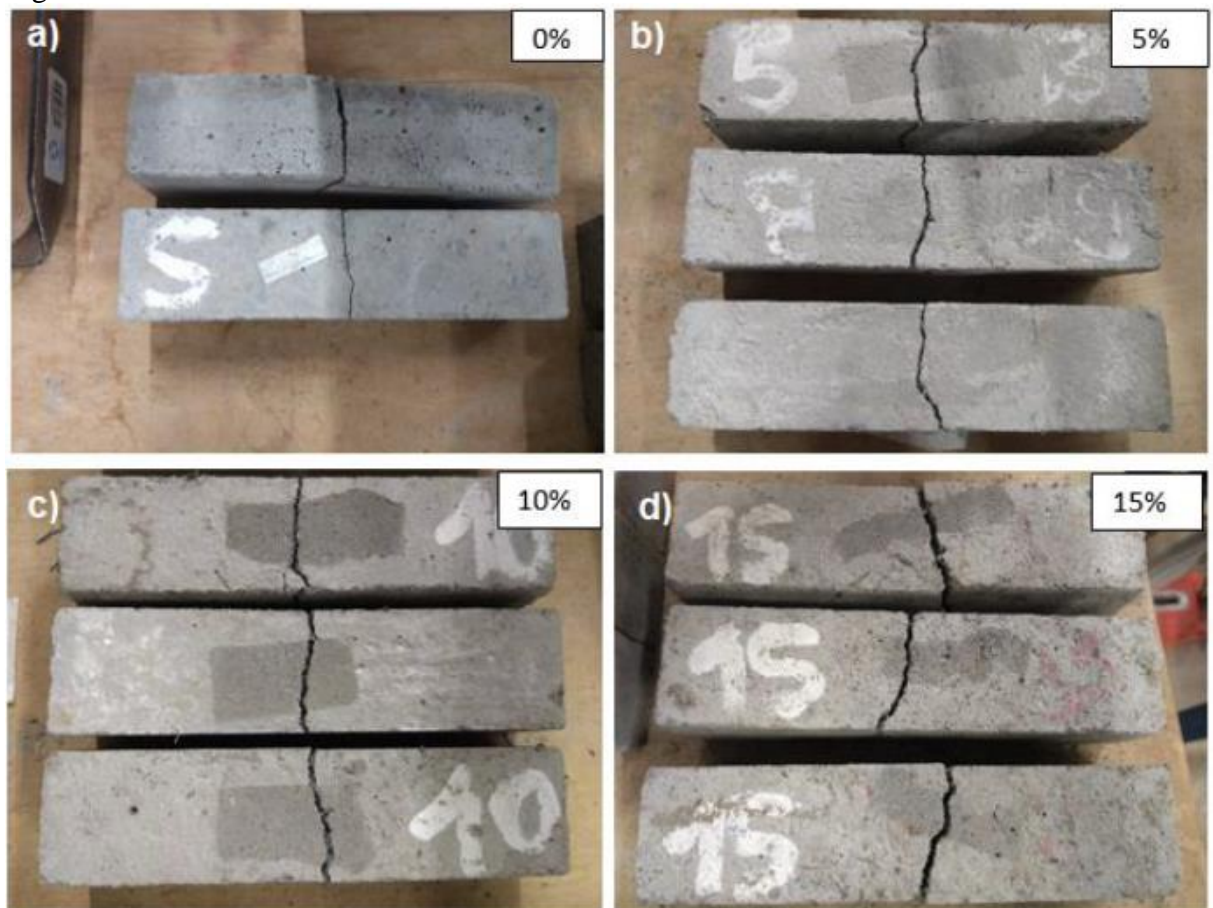
Figura 14 – Resultados dos ensaios a compressão.



Fonte: Cíntia (2019).

Nesse gráfico é possível observar que quando se aumentava o teor de borracha na mistura a resistência compressão diminuía, resultados obtidos pelos trabalhos já pesquisados. Nas fotos a seguir as diferentes fissuras obtidas no rompimento de cada corpo de prova, é possível quanto menor era o teor de borracha, as fissuras iam se tornando mais retas, ou seja, a argamassa de referencia teve sua fissura mais reta, direta de um ponto ao outro, enquanto a te 15% por exemplo suas fissuras foram menos regulares com mudança de direção, segundo o autor, estes desvios ocorrem, pois, a força é absorvida pelas partículas de borracha, os quais retardam levemente a sua trajetória até o rompimento total.

Figura 15 – fissuras nos CPs.



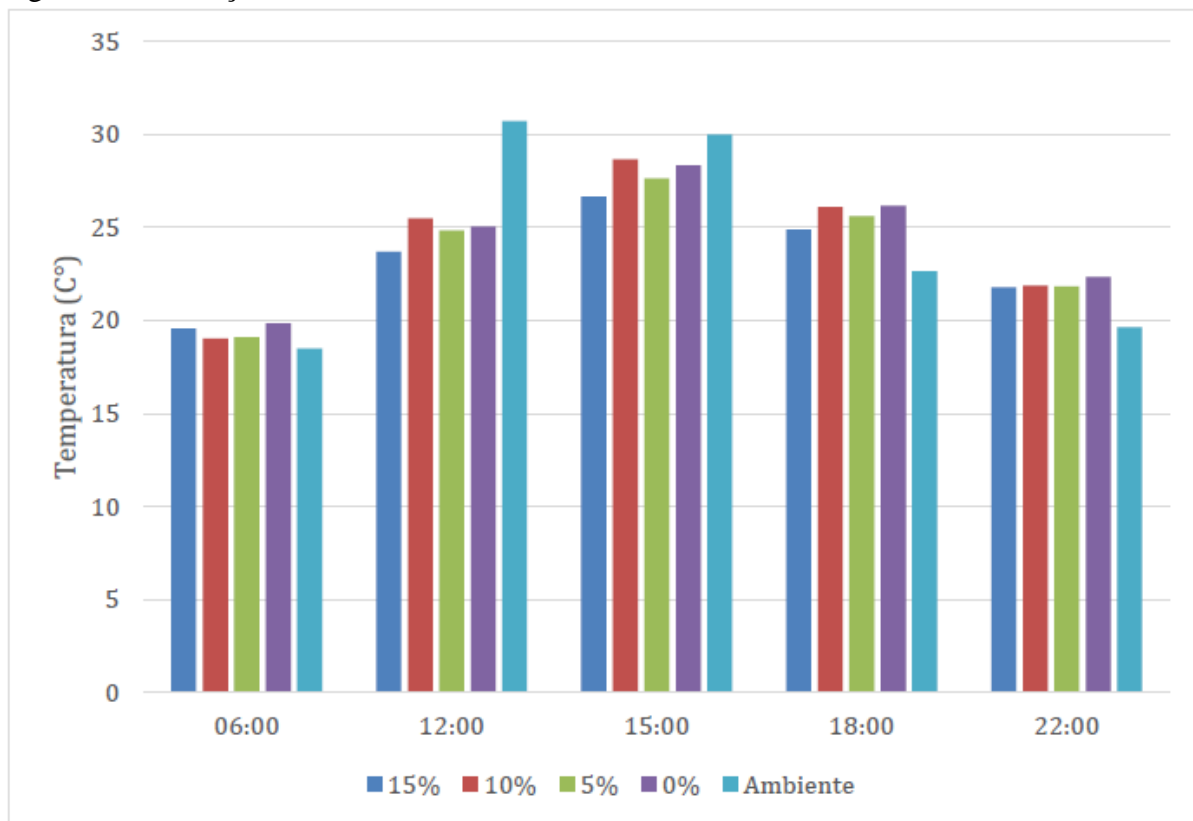
Fonte: Cíntia (2019).

Segundo o mesmo trabalho, foram analisadas as propriedades térmicas, ou o isolamento térmico dessa argamassa de revestimento. As medições realizadas nesse experimento, ocorreram nos dias 26/03 a 04/04, e do dia 17/04 a 20/05, totalizando 44 dias de coletas de dados. Foi observado que nos dias de maior temperatura, os protótipos se mantiveram com a temperatura mais amena e com menor amplitude, quando o ambiente externo elevava rapidamente sua temperatura o ambiente interno dos protótipos elevava sua temperatura mais lentamente, o mesmo acontecia quando a temperatura despencava.

Segundo alguns dados da pesquisa, foi observado que a temperatura do revestido com argamassa de 15% de borracha atingiu a temperatura máxima de 40 °C, enquanto o com 0% atingiu 41,9 °C. Os traços com teor de borracha 5% e 10% de chegaram ao 40,2 °C e 40,6°C, respectivamente. Em relação as baixas temperaturas o traço de referência atingiu 13,9 °C, já os traços com 5%,10% e 15%, chegaram aos 15,5 °C, 15,7° e 23,1 °C respectivamente, isso comprova que a diminuição da temperatura no protótipo também é gradativa em todos os protótipos estudados.

Outro dado interessante, foi que no dia 02 de março a temperatura ambiente atingiu 45,4 C°, às 15:00, maior temperatura registrada no experimento, enquanto no protótipos foi medida a temperatura de 41 C°, 39,6 C°, 40,5 C°, 38,5 C° (0%, 5%, 10% e 15% de borracha), chegando a uma diferença de 6 C°. Nesse mesmo dia às 16:00, a temperatura foi de 45,4 C° para 37,4 C°, já os protótipos se continuavam na casa dos 40 C°. No gráfico a seguir mostra dados coletados em alguns dias do experimento, comprovando a variação de temperatura mais gradual nas argamassas com maior quantidade de borracha em sua mistura.

Figura 16 – Medições.



Fonte: Cíntia (2019).

Conclusões

O intuito do trabalho foi analisar as propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas da adição de borracha nas argamassas de revestimento, esse tipo de mistura antes de tudo será de enorme ajuda ao meio ambiente, ao reciclar esse tipo de resíduos, por outro lado com base em pesquisas realizadas sobre o tema, é possível concluir que em alguns parâmetros, talvez os mais importantes quanto a funcionalidade de uma argamassa de revestimento, como o desempenho acústico e térmico, os resultados foram bem positivos, podendo sim ser uma solução para atingir o desempenho das edificações. Por outro lado, as propriedades físicas e mecânicas, como a resistência a compressão e tração, os resultados não foram bons, porém os resultados atingidos não foram de grande diferença. Então é correto afirmar que a argamassa de reboco agregada com resíduos de pneus inservíveis pode ser uma solução para alguns problemas encontrados nas edificações, principalmente as que se dividem apenas por uma parede, não havendo um recuo entre elas, casos das casas germinadas. Esse tipo de produto pode ser incluído facilmente no mercado, outros materiais da construção civil, como asfalto e calçadas, já se utilizam borracha de pneu em suas misturas, mostrando ser produtos eficazes se tratando da finalidade em que eles foram criados além de ajudar o meio ambiente.

Referências Bibliográficas

CUSTÓDIO, Camila; MORAES, Rodrigo; **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA BORRACHA NA ARGAMASSA**. Itatiba – SP: edição do autor, 2019. 14 p. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil – Universidade São Francisco, Itatiba 2019.

MACEDO, Deyse Crhistina Barbosa; TUBINO, Rejane Maria Candiota. **Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu**. Goiânia-GO: edição do autor, 2005. 13 p. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado. [Trabalho apresentado], São Carlos, 3 e 4 de novembro 2005.

SLAIFFER, Cíntia. **INFLUÊNCIA DE FIBRAS DE BORRACHA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MÊCANICAS E TÉRMICAS EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**. Lajeado: edição do autor, jun.2019. 100 p. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado 2019.

TORRES, L. A. et al. **Uso de resíduo de pneus inservíveis em substituição ao agregado fino em argamassa de revestimento**. [S.l:s.n]. - v.5 - n.1, Dez 2016 a Nov 2017. 10 p. Engineering Sciences, Dez 2016 a Nov 2017.