

PLACAS DE REVESTIMENTO CIMENTÍCIAS COMPOSTAS COM PÓ DE BORRACHA PARA REDUÇÃO DE RUÍDOS

SILVA JUNIO, Fernando Teixeira - MALERBA, Igor Scarparo¹
MS Rafael Augusto V. da Cruz Magdalena²
Universidade São Francisco
i.smalerba@gmail.com

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

²Professor Orientador MS Rafael Augusto V. da Cruz Magdalena, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista SP. Cimentícios

Resumo. A presente pesquisa científica tem por finalidade relatar a intensa busca por novos materiais e tecnologias para a construção civil no que proporcione melhorias, principalmente no sentido do aprimoramento de sistemas construtivos que apresentam deficiências. O principal objetivo deste trabalho é demonstrar o comportamento do pó de borracha vulcanizada reciclada de pneus inservíveis para o desenvolvimento de placas cimentícias, um novo produto para o mercado da construção civil. É observada as propriedades mecânicas da argamassa, analisado sua trabalhabilidade e a absorção de água na argamassa fresca para o desenvolvimento das placas. A resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral. O pó de borracha foi tratado com hidróxido de sódio para eliminar possíveis materiais orgânicos e facilitar na adesão da borracha na argamassa. A ideia é trazer o conforto acústico para construções com um custo razoável, e ao mesmo tempo, encontrar uma alternativa para ajudar a reciclar pneus, que são um dos materiais mais consumidos pelo sistema de transporte brasileiro. Para teste acústico, foi utilizado um transmissor de frequência e um medidor de pressão sonora. É esperado um material de fácil aplicação com um comportamento de redução sonora significativo para edifícios comerciais e residenciais. Foram nos exibido a importância das inovações e de novas técnicas de uso de materiais para a evolução da construção civil.

Abstract. *This scientific research aims to report the intense search for new materials and technologies for civil construction that provide improvements, especially in terms of improving constructive systems that have deficiencies. The main objective of this work is to demonstrate the behavior of vulcanized rubber powder recycled from useless tires for the development of cement slabs, a new product for the civil construction market. The mechanical properties of the mortar are observed, analyzing its workability and the absorption of water in the fresh mortar for the development of the slabs. Compressive strength tensile strength by diametrical compression. The rubber powder was treated with sodium hydroxide to eliminate possible organic materials and facilitate the adhesion of rubber to the mortar. The idea is to bring acoustic comfort to buildings at a reasonable cost, and at the same time, find an alternative to help recycle tires, which are one of the materials most consumed by the Brazilian transport system.*

For acoustic testing, a frequency transmitter and a sound pressure meter were used. An easy-to-apply material with significant noise reduction behavior for commercial and residential buildings is expected. We were shown the importance of innovations and new techniques for using materials for the evolution of civil construction.

Palavras-chave: pó de borracha, placas cimentícias, pneu, ruídos.

Introdução

A argamassa, segundo a NBR-7200, é definida como a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência. Conforme SILVA (2008), as principais funções da argamassa são: unir componentes de alvenaria, melhorar a aderência e proteger das intempéries e ação dos meios externos. Ainda podem ser usados como acabamento ou como base para receber outros revestimentos como pinturas e cerâmicas.

É constatado que o concreto faz parte da história da civilização a mais de 5 000 anos, a presença do concreto na história evoluiu através dos tempos com o desenvolvimento das civilizações.

O concreto mais antigo foi confeccionado em Lepensky Vir em 5600 a.C, piso de um casebre com 250 mm de espessura, constituído de uma mistura de cal, argila e agregados.

Os alemães estabeleceram a teoria mais completa do novo material, toda ela baseada em experiências e ensaios. “O verdadeiro desenvolvimento do concreto armado no mundo iniciou-se com Gustavo Adolpho Wayss” que fundou sua firma em 1875, após comprar as patentes de Mounier para empregar no norte da Alemanha (VASCONCELOS, 1985).

Na revolução industrial a partir da segunda metade do século XVIII iniciaram pesquisas e experimentos com o intuito de fabricar um cimento que possibilitasse maior resistência e durabilidade ao concreto, tendo o cimento romano criado acidentalmente preparado através de uma mistura de rochas vulcânicas e cal.

Argamassa de Revestimento

“A argamassa pode ser conceituada como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos” - SABBATINI (1986).

A Argamassa pode ser constituída como uma mistura homogênea, hoje, preparada com cimento, agregado miúdo, água, aditivos quando necessário.

Os revestimentos de argamassa têm a função de proteger as vedações, estruturas contra agentes corrosivos, evitar a degradação precoce, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenções dos edifícios; auxiliar as vedações a cumprirem com as funções tais como, o isolamento termoacústico, estanqueidade da água e aos gases, estéticas de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização das construções ou determinação do padrão dos edifícios.

Segundo a NBR 13530 (ABNT 1995) descreve a classificação das argamassas quanto à natureza, número, tipos de aglomerantes, quanto à função do revestimento, forma de preparo, propriedades especiais.

Pela NBR 13529 (ABNT, 1995), estabelece que a argamassa para revestimento é “uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerados inorgânicos e água, podendo conter aditivos ou não, com a capacidade de aderência ou endurecimento”.

Pode-se encontrar inúmeras definições para a sua aplicação, são elas:

- Adições: Materiais inorgânicos naturais ou até mesmo industriais, que quando adicionados à argamassa, alteram a suas propriedades levando em consideração a proporção.
- Argamassa de cal: É preparada com um único aglomerado, o cal.
- Argamassa de cimento: É o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera, contendo uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa em espessuras uniformes, para que assim, possa receber o acabamento desejado

Funções do Revestimento da Argamassa

Os revestimentos de argamassa normalmente têm as consecutivas funções conforme Sabbatini et al,(1984):

- Amparar as estruturas e vedações contra ação dos agentes agressivos, buscando aumentar a conservação do ambiente para ter economia com a manutenção dos edifícios.
- Vedam e cumprem as suas funções com o isolamento termoacústico, líquido e gasoso, visando maior segurança não propagando o fogo.
- Estética, visando valorização, influenciada nas não deformidades na construção e padrão dos edifícios.

Classificação dos Revestimentos

Na NBR 13530 (ABNT,1995), são considerados como revestimentos os sistemas que contém uma ou mais camada de argamassa, sendo que cada uma delas tem uma função diferente, já que as mesmas podem ser aplicadas sobre paredes ou teto, buscando o tão sonhado acabamento. Em algum dos casos, há uma exigência de conforto termo ou anti umidade.

São classificados pela norma os seguintes revestimentos de argamassa:

- (A) A quantidade de camadas de aplicações:
- (B) O ambiente de exposição:
- (C) Tendo em consideração o comportamento com a umidade:
- (D) Comportamento relacionado à exposição de radiação:
- (E) Comportamento relacionado à exposição ao calor
- (F) Tendo em consideração o acabamento superficial

Sabbatini (1984), caracteriza as camadas de argamassa de revestimento como:

Emboço: Massa grossa, que é a camada que tem como principal função a regularização da superfície de alvenaria

Reboco: massa fina, é a camada de acabamento do revestimento de argamassa.

O reboco é responsável pela textura superficial final das múltiplas camadas dos revestimentos, sendo que a pintura é aplicada diretamente sobre o mesmo. Sendo assim, não pode conter fissuras em sua aplicação, pois a argamassa deverá apresentar uma grande capacidade para acomodar as deformações.

- Massa única: Emboço Paulista, é por muitos conhecido como massa única, que é o revestimento com acabamento em uma pintura com apenas uma camada.

- Chapisco: mesmo o chapisco não sendo considerado como uma camada de revestimento, ele é utilizado na aplicação da base de espessura irregular. O seu objetivo é a melhora nas condições de aderência da primeira camada do revestimento e em situações sem escapatórias de dois fatores:
- Limitações na capacidade de aderência da base: quando se tem uma superfície com propriedades muito lisas, ou alta porosidade.
- Revestimento: está sujeito a ações de maior intensidade, são os revestimentos de teto e em outros ambientes externos gerais.

Grãos de borracha de pneus Reutilizáveis

O aumento vertiginoso na geração de resíduos sólidos é uma grande preocupação na sociedade moderna. Entre estes resíduos, estão os pneus inservíveis que devido à significativa quantidade existente no mundo transformou-se em um sério problema ambiental.

Considerando que o descarte inapropriado de pneus que não podem ser utilizados agride destrutivamente o meio ambiente, o objeto em questão, quando descartado erroneamente, leva em média 600 anos para sua decomposição, é necessário pensar em alternativas para sua reutilização.

O Brasil descarta aproximadamente 450 toneladas de pneus por ano, este material considerado de descarte para muitos serve de matéria prima para outros.

Este faz a utilização de partículas de borracha obtidas pela trituração mecânica de pneus inservíveis, constituindo uma argamassa com as características de compósito que apresenta propriedades mecânicas adequadas para o desenvolvimento de um traço de argamassa composto com pó de borracha para a aplicação de reboco nas construções de pequeno, médio e grande porte, proporcionando conforto acústico para clientes e atribuindo uma nova utilização para pneus inservíveis.

A reciclagem: quando é separado a borracha, o aço e o nylon, para passarem pela trituradora, gerando farelos dos materiais separadamente, que depois são destinadas para algumas indústrias CIMENTEIRAS, ETCS (LI et al., 2010);

No ano de 2011, 55,46% dos pneus inutilizáveis passaram pelo processo de coprocessamento em fábricas de cimento, segundo o IBAMA, e 29,91% reciclados, 12,80% laminados, 1,80% para indústria de xisto e 0,03% foram para a regeneração. Podemos ver que a maior parte foi para a indústria cimentícia.

Argamassa com grãos de Borracha

O uso de pneus é um dos passos na caça por leveza, qualidades de melhores argamassa, resistência, e melhoramento térmico. Segundo Junior (2014), o resíduo de pneus pode ser substituído em forma parcial ou total do agregado graúdo ou miúdo em argamassas, ou também na forma de adição composta.

De acordo com Metha e Monteiro (2014) a adição em forma de fibras podem melhorar a resistência de impacto, resistência de fissuração, resistência à fadiga e resistência de tenacidade. Conforme os autores, a baixa quantidade de fibras proporciona uma melhora do controle de fissuração, já uma quantidade maior proporciona melhorias consideráveis na resistência de flexão, fraturas e resistência ao impacto.

Khatib e Bayani apud Meneguini (2003) verificaram que, após adicionada uma grande quantidade de borracha, a trabalhabilidade da argamassa diminuía e por consequência, aumentava o número de vazios na pasta.

Conforme Tupçu et al. (2009), o aumento da quantidade de borracha no traço influencia na porosidade da mistura, quanto maior for a proporção do material no traço, maior será o resultado da retração.

Sobre a resistência, houve o tratamento na borracha com ácido nítrico diluído, e as proporções variam de 0%, 5% e 15% com a granulometria de borracha de 20 a 40 mesh. Os mesmos eram comparados com os materiais que haviam borrachas sem tratamento. Com isso poderão notar que a resistência a tração do material diminuía, não havendo influência no tamanho das partículas, já as borrachas que passaram pelo tratamento mantiveram a sua resistência com 5% a 15% de adição.

2.2 Acústica

Segundo Bistafa (2006), o som é a sensação produzida no sistema auditivo e pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo mesmo.

O som e ou o ruído pode ser definido com qualquer variação de pressão atmosférica que o ouvido pode captar.

As principais variáveis do conforto acústico são: entorno (tráfego); a arquitetura; o clima (ventilação, pluviosidade); orientação/implantação (materiais, mobiliário). É importante ressaltar que tudo na natureza tem propriedades acústicas, mas a capacidade de absorção varia em função do material.

O som possui três características essenciais: intensidade, altura explicam Braga et al. (2005, p. 209):

a intensidade depende da amplitude do movimento vibratório, da superfície da fonte sonora, da distância entre o ouvido e a fonte e da natureza do meio entre a fonte e o receptor. Tudo isso condiciona dizer se o som é forte ou fraco. A altura, ou frequência do som, é a qualidade que corresponde à sensação do som mais ou menos 'agudo' ou 'grave'. Finalmente, dois sons de mesma intensidade e mesma altura podem proporcionar sensações diferentes, ou seja, eles se distinguem pelo timbre. E o que se sente quando se ouve um violino e um piano, por exemplo.

Para adequar o desempenho acústico das edificações, conforto, bem-estar e segurança são fatores essenciais para a habitabilidade de uma edificação, NBR 15575. A norma NBR 10152 tem o objetivo de estabelecer as condições mínimas para a aceitabilidade do ruído ou intensidade sonora.

Conceitos de Acústica

Para tratarmos fisicamente o que significa um estímulo sonoro, é uma vibração de um meio elástico, que quando emanado, transmite este estímulo às moléculas adjacentes do espaço até chegarem ao receptor, o ouvido.

para uma análise quantitativa, é tomado como referência a pressão atmosférica que tem como valor aproximado 101.400 Pa, ou aproximadamente 105 Pa. Tratando-se de parâmetros para análise, o ruído de um avião altera maximamente 10 Pa. O ouvido humano consegue captar uma variação mínima 10^{-5} à 10^2 Pa de variação de pressão, sendo o mínimo denominado como limiar da audição e o máximo o limiar da dor.

Tratando de níveis sonoros e as variações que o ser humano pode suportar, para tratarmos qualquer ruído com variação de pressão seria pouco prático, utiliza-se uma outra unidade para analisar a grandeza. O decibel (dB) que é 1/10 do bel, denominação atribuída em homenagem ao cientista Alexander Graham Bell.

Dada a pressão sonora em níveis de pressão sonora temos que 0 dB equivale a 10⁻⁵ Pa, 10⁻⁴ Pa equivale a 20 dB, e assim por diante sendo o limiar da dor no ser humano o nível de pressão sonora de 140 dB.

Tratando se acústica de edifícios é normal distinguirmos em três grandes zonas de frequência. De 20 a 355 Hz consideramos frequências graves, para as médias medimos 355 a 1410 Hz e para as frequências agudas consideramos 1410 a 20000Hz.

Poluição Sonora

Nos últimos tempos, estudos da OMS (organização mundial da saúde – fonoaudiologia), o ruído passou a ter conotações ambientais sendo conceituado como poluição, devido causar alterações prejudiciais ao meio em que habitam homens e animais.

Consideravelmente são utilizados o termo ruído e som como sinônimo, percebendo que o som é geralmente utilizado para sensações prazerosas como músicas, artes, falas, etc... Enquanto o ruído é visto como um som indesejável como sirene, máquinas, buzinas, explosão, etc..

O conceito legal de poluição sonora pode ser encontrado na própria definição de poluição dada pela lei n 6.938/81, da Política Nacional do Meio Ambiente, no art. 3º:

Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:
[...] III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:
a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
c) afetem desfavoravelmente a biota;
d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

Desta forma um dos tipos de poluição é a poluição sonora, visto que o barulho em excesso se enquadra na legislação ambiental no que diz respeito ao trazer prejuízos à saúde e ao bem-estar da população. Na prática o ruído exerce pressão no sistema auditivo humano. A medida que esta pressão aumenta são causados danos a saúde, comportamentais, e até físicos, sendo assim considerada poluição. Os padrões ambientais em termos de poluição sonora podem ser encontrados em várias normas emitidas pela ABNT, Resoluções do CONAMA, e portarias do CONTRAN, bem como em legislações estaduais e municipais que se necessita. A Organização Mundial da Saúde considera a poluição sonora ambiental a segunda forma mais dominante de poluição na era industrializada. Portanto, na legislação ambiental a poluição sonora constitui crime, conforme disposto no art. 54 da Lei no 9605/98 – Lei de Crimes Ambientais. Segue o previsto no artigo:

Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora: Pena – reclusão, de 1 (um) a 4 (quatro) anos, e multa.
§ 1o Se o crime é culposo: Pena – detenção, de 6 (seis) meses a 1 (um) ano, e multa.

Danos Causados pela Poluição Sonora

Danos Causados pela Poluição Sonora A poluição sonora é hoje em dia, após a poluição do ar e da poluição da água, o problema ambiental que influencia a maior quantidade de indivíduos no mundo de acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde).

A poluição sonora vai muito além do desconforto e insatisfação humana, responsável de graves danos à saúde, afetando o sistema auditivo, psicológico, nervoso, cardiológico, circulatório, gástrico, entre outros. As consequências geradas pela poluição sonora ao humano tem relação entre a intensidade do barulho, principalmente na perda da audição.

O prejuízo causado ao homem devido ao incômodo dos ruídos tem crescido rapidamente no seu local. A seqüela deixada depende além do nível de emissões sonoras, de elementos como: tempo de exposição, condições gerais de saúde, idade, etc... Todos estes elementos combinados determinarão as sequelas deixadas pelo ruído no indivíduo. Algumas dessas sequelas são capazes de: aumento da pressão arterial, aumento da aceleração da respiração, aumento da pressão no cérebro e aumento das secreções na adrenalina. Ruídos acima de 60db provocam reações inconscientes e são independentes do fato de o ruído estar sendo considerado incômodo ou não. Várias pesquisas têm presenciado que o homem parece estar cada dia mais habituado com os ruídos. Várias pessoas questionadas ao longo da pesquisa feita por YORG e ZANNIN (2003), por exemplo, se sentiam incômodos em seu local laboral e/ou seu local urbano, a resposta foi: "... Nós já estamos acostumados a estes ruídos, com o tempo a gente acostuma...". Estas respostas demonstram diretamente que a exposição repetida e contínua ao ruído, não é mais percebida de uma forma consciente ou incômoda, no entanto os efeitos danosos à saúde são capazes de serem adquiridos por essa exposição.

Reações psíquicas como a motivação e a disposição são capazes de ser modificadas negativamente por meio do ruído. A agressividade e o nervosismo aumentam e a capacidade de aprendizado e de concentração é sensivelmente afetada. Em ambientes industriais, pode provocar a diminuição da capacidade de trabalho, redução da percepção podendo aumentar a probabilidade de ocorrência de acidentes. Em ambientes domésticos graus sonoros que ultrapassem 30db são capazes de serem considerados inoportunos e incomodativos. Em suma, a poluição sonora precisa ser averiguada como algo agressivo. O ruído é um poluente impercebível que, continua e lentamente vai agredindo as pessoas, causando-lhes danos tanto auditivos como em todo organismo e suas sequelas são capazes de ser irreparáveis.

Segundo o pesquisador Yotaka Fukuda, professor de Otorrinolaringologia da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), a partir dos 70 decibéis as pessoas começam a sentir problemas causados por "desconforto psicológico". Com 80 decibéis, os batimentos cardíacos se aceleram e a pressão arterial aumenta, assim como o nível de adrenalina no sangue. Já a partir de 90 o sistema auditivo começa a ser afetado. Nesse momento, uma exposição mais prolongada pode deixar sequelas. Além de causar danos à saúde, a poluição sonora acarreta a perturbação do sossego e da tranquilidade do ser humano.

Acústica de áreas Habitacionais

Para acústica de edifícios e áreas habitacionais existem duas perspectivas de análise a serem tomadas, a correção acústica que se refere em corrigir um compartimento para o ruído ali emitido e o isolamento sonoro.

O isolamento sonoro de edifícios deve ser analisado primeiramente pelo comportamento de um único elemento, sendo ele uma parede de um pavimento. Modelos, de uma forma simples denominados de:

- Modelo teórico, baseado no comportamento físico dos materiais;
- Modelo estatístico, baseado em informações experimentais;
- Modelo informatizado, baseado em uma junção dos dois modelos anteriores e até mesmo soluções de estudo de caso específico.

O comportamento acústico de um elemento construtivo a ruídos de condução aérea depende de sua massa do material separador do ambiente emissor para o ambiente receptor.

O elemento que caracteriza o material e seu isolamento sonoro a ruídos aéreos genericamente é definido como uma expressão logarítmica onde R é o fator de redução sonora.

Para parâmetros de isolamento sonoro em termos subjetivos, podemos relacionar a voz com o isolamento para análise rápida de eficiência.

Para isolamento menor do que 30 decibéis a voz pode ser compreendida com facilidade em outro ambiente, para isolamento de 30 a 35 decibéis a voz é percebida sem nitidez, para isolamento de 36 a 40 decibéis a voz pode ser ouvida, mas não compreendida. De 51 a 55 decibéis apenas ruídos intensos são percebidos, como por exemplo canto, instrumentos musicais, entre outros. E para isolamento de 56 a 60 decibéis apenas ruídos de alta intensidade são perceptivos, mas com dificuldade, como por exemplo uma banda, uma casa de shows ou discotecas.

Material e Métodos

O objetivo descrever todas os ensaios para o desenvolvimento das placas cimentícias previamente supracitada. Analisando o comportamento do emprego de pó de borracha de pneus no traço composto por areia, cimento e cal. Os procedimentos serão referenciados as normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Primeiramente como objetivo será realizado testes de granulometria, massa específica aparente e unitária no pó de borracha de pneus, tendo como finalidade sua caracterização física e posterior padronização. O mesmo procedimento será realizado para a areia que será empregada no traço.

Posteriormente serão confeccionados corpos de prova de argamassa com três tipos de traço, ou seja, com três variações no percentual empregado do pó de borracha na argamassa para análise de suas propriedades.

Após a análise do produto final o mesmo será aplicado em um protótipo para testes acústicos conforme norma NRB 10152 – Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.

Pó de Borracha

Toda a borracha que será utilizada para o experimento é proveniente da moagem de pneus não reutilizáveis em moedores cilíndricos para a obtenção do pó de borracha. A matéria prima será tratada em uma solução saturada de hidróxido de sódio (soda cáustica) para eliminar impurezas de matéria orgânica presentes na borracha descartada sem função comercial, como por exemplo graxa, óleos, entre outros. O material será imerso numa solução de hidróxido de sódio por uma hora e posteriormente será lavado em água corrente, esta água que será submetida a uma neutralização para posterior descarte, com o auxílio de fita medidora de pH.

Agregado

A areia será submetida aos testes de granulometria da mesma maneira que o pó de borracha, a fim de termos todas as características físicas dos agregados incorporados no traço.

Utilizaremos para o estudo uma areia que se aproxime de um módulo de finura de aproximadamente 2,5mm.

Cimento

Utilizaremos para o desenvolvimento do produto o cimento CP II-F 32, dada escolha devido a indicação do produto para a produção de argamassas de revestimento. Este cimento é um composto constituído de 90% a 94% de clínquer e gesso e de 6% a 10% de material carbonático ou filer.

Apresenta classe de resistência de 25, 32 e 40MPa.

Método

Realizou-se no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade São Francisco, no Campus Bragança Paulista, o experimento compondo 1 traço convencional e 2 traços alternativo para o concreto com adição de pó de borracha de pneus inservíveis. Para os traços foram utilizados os seguintes materiais: Pó de pedra, areia quartzo, pó de borracha, água, cimento CII 32, aditivo superplastificante Flow 9020 (para concretos que precisam de grande abertura sem a desincorporação de ar, conferindo excelente trabalhabilidade). Foram moldados ao todo 20 corpos de prova; A moldagem do corpo de prova foi executada como indicado na norma brasileira NBR 7215, em formas de 50 mm x 100 mm, foram moldados além disso 8 placas, sendo 4 placas com o concreto convencional e 4 placas com o traço de concreto com adição de pó de borracha de pneus inservíveis em formas de 25 x 25 x 3 cm. O traço foi confeccionado em betoneira visto que é um equipamento de fácil acesso e presente na maioria dos canteiros de obra, para uma melhor trabalhabilidade e uma massa de concreto mais uniforme.



IMAGEM 01: Materiais utilizados (Fonte: Próprio autor 2021).



IMAGEM 02: Pó de Borracha de Pneus Inservíveis tradada (Fonte: Próprio autor 2021)

O procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos ocorreram de acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), utilizando-se a NBR 5738/2015. Para o início da preparação dos traços a ser confeccionado, definiu-se os tamanhos dos cilíndricos a serem moldados com um diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm, conforme orienta a NBR. Todos os moldes foram revestidos com desmoldante para evitar qualquer reação com o cimento. Na moldagem preencheu-se com 1/3 (um terço) do cilindro com o material, logo após, realizando-se 12 golpes com uma haste de metal de adensamento, completando sucessivamente todo molde cilíndrico desta forma. Depois do adensamento manual, em todos foram feitos o rasamento da superfície com a borda do molde conforme demonstra nas imagens 03, 04 e 05.

Os traços desenvolvidos foram submetidos ao tempo de cura para testes de rompimento. Os testes de rompimento dos corpos de prova serão realizados com 14 e 28 dias.

Nas tabelas 01, 02, 03 e 04 apresentamos os traços teste, e o traço 01 final composto com pó de borracha de pneus inservíveis e o traço convencional para a fabricação de placas para o protótipo dos testes comparativos de ruídos.

Tabela 01 – Traço 01 para teste composto com pó de borracha

Traço	Corpo de Prova	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Pó de pedra (Kg)	Água (Kg)	Pó de Borracha (Kg)	Aditivo Flow 9020 (Kg)
Quantidade	8	4,0	9,14	2,86	3,8	---	--

Fonte: Próprio autor.

Tabela 02 – Traço 02 para teste composto com pó de borracha

Traço	Corpo de Prova	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Pó de pedra (Kg)	Água (Kg)	Pó de Borracha (Kg)	Aditivo Flow 9020 (Kg)
Quantidade	8	4,0	3,2	10,5	3,8	---	--

Fonte: Próprio autor.

Tabela 03 – Traço 03 composto com pó de borracha – FINAL

Traço	Corpo de Prova	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Pó de pedra (Kg)	Água (Kg)	Pó de Borracha (Kg)	Aditivo Flow 9020 (Kg)
Quantidade	8	4,5	3,214	10,6	3,8	---	0,2

Fonte: Próprio autor.

Tabela 04 – Traço Convencional para desenvolvimento do protótipo para teste de Ruídos.

Traço	Corpo de Prova	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Pó de pedra (Kg)	Água (Kg)	Pó de Borracha (Kg)	Aditivo Flow 9020 (Kg)
Quantidade	0	1,0	5,0	0	0,8	0	0

Fonte: Próprio autor.



IMAGEM 03: Traço Teste – com adição de pó de borracha - Pouca trabalhabilidade (Fonte: Próprio autor).



IMAGEM 04: Traço 01 – com adição de pó borracha - Boa trabalhabilidade (Fonte: Próprio autor).



IMAGEM 05 :Corpos de prova – traço com adição de pó de borracha (Fonte: Próprio autor 2021).



IMAGEM 06: Corpos de prova – traço com adição de pó de borracha (Fonte: Próprio autor 2021).



IMAGEM 07: Traço 01 - Placas cimentícias composto com pó de borracha (Fonte: Próprio autor 2021).

Uma das dificuldades na preparação dos traços em relação ao traço convencional devido ao pó da borracha, quanto mais borracha menor absorção de água, pois mantendo a quantidade inicial de água, a massa não dava liga dando a necessidade da utilização do aditivo superplastificante Flow 9020. Verificou-se que após adicionado

uma porcentagem de borracha, quanto maior a porcentagem, a trabalhabilidade da argamassa diminuía e por consequência aumentava o número de vazios na pasta, o aumento da quantidade de borracha influenciou na porosidade da mistura.

Resultados e Discussão

Para realizar o Ensaio de Compressão segundo a NBR 5739/1994 e Tração NBR 1222/94 os corpos de prova foram pesados e colocados na Máquina FORNEY AUTOMATIC, observando a resistência alcançada de cada traço.

Os ensaios de compressão e tração foram realizados nos corpos de provas com tempo de cura de 14 dias e 28 dias.

Resultados do Ensaio de Compressão

Na parte inicial do Ensaio de Compressão realizou-se a pesagem dos corpos de prova conforme apresentando-os na Tabela 05.

Tabela 05 – Massa dos corpos de prova cilíndrico (Kg)

Corpo de Prova	14 Dias	28 Dias
1	0,33	0,30
2	0,35	0,30
3	0,33	0,31
4	0,34	0,30
Média	0,33	0,30

Fonte: Próprio autor 2021



IMAGEM 08: Corpo de prova com 14 dias de tempo de cura (Fonte: Próprio autor 2021)



IMAGEM 09: Corpo de prova com 28 de tempo de cura (Fonte: Próprio autor 2021).

Com os resultados obtidos na pesagem verificou-se que conforme aumentou os dias de cura do traço, o peso do corpo de prova diminuiu, apresentando-se conseqüentemente um material mais leve.

O resultado do ensaio de resistência a compressão e tração com 14 dias de cura está representado na Tabela 06, 07, 08 e 09 e nas Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 e um comparativo gráfico dos resultados obtidos.

Tabela 06 – 14 Dias de Cura (MPa)

CORPO DE PROVA	COMPRESSÃO
01	3,41
02	3,80
Média	3,60

Fonte: Próprio autor



IMAGEM 10: Rompimento corpo de prova com 14 dias – COMPRESSÃO (Fonte: Próprio autor 2021).

Tabela 07 – 14 Dias de Cura (MPa)

CORPO DE PROVA	TRAÇÃO
01	2,57
02	2,52
Média	2,55

Fonte: Próprio autor



IMAGEM 11: Rompimento corpo de prova com 14 dias – TRAÇÃO (Fonte: Próprio autor 2021).



IMAGEM 12: Resultado rompimento corpo de prova 01 com 14 dias – COMPRESSÃO (Fonte: Próprio autor 2021).



IMAGEM 13: Gráfico rompimento corpo de prova 01 com 14 dias – COMPRESSÃO (Fonte: Próprio autor 2021)



IMAGEM 14: Resultado rompimento corpo de prova 01 com 14 dias – TRAÇÃO (Fonte: Próprio autor 2021).

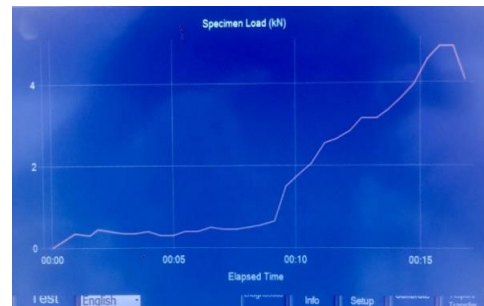


IMAGEM 15: Gráfico rompimento corpo de prova 01 com 14 dias – TRAÇÃO (Fonte: Próprio autor 2021).

Tabela 08 – 28 Dias de Cura (MPa)

CORPO DE PROVA	COMPRESSÃO
01	5,37
02	5,06
Média	5,22

Fonte: Próprio autor

Tabela 09 – 28 Dias de Cura (MPa)

CORPO DE PROVA	TRAÇÃO
01	3,76
02	3,39
Média	3,58

Fonte: Próprio autor



IMAGEM 16: Resultado rompimento corpo de prova 01 com 28 dias – COMPRESSÃO (Fonte: Próprio autor 2021).

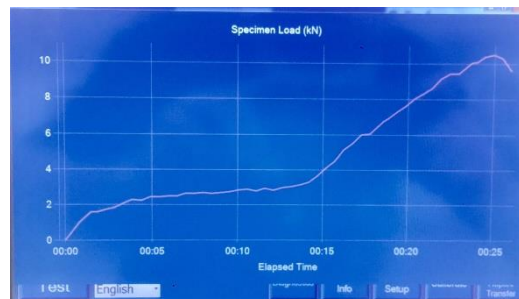


IMAGEM 17: Gráfico rompimento corpo de prova 01 com 14 dias – COMPRESSÃO (Fonte: Próprio autor 2021)



IMAGEM 18: Resultado rompimento corpo de prova 01 com 28 dias – TRAÇÃO (Fonte: Próprio autor 2021).



IMAGEM 19: Gráfico rompimento corpo de prova 01 com 28 dias – TRAÇÃO (Fonte: Próprio autor 2021).

Nota-se nos resultados do ensaio de compressão e tração, houve diferença entre o a cura do concreto em 14 dias em relação à cura do concreto de 28 dias como previsto. O traço proposto com adição de pó de borracha de pneus inservíveis se mostrou eficiente em relação à resistência conforme esperado

Analisando-o o traço podemos notar que não houve divergência entre as resistências tanto de força de compressão quanto à tração dos corpos de prova, nos mostrando certa uniformidade nos resultados.

Nos resultados do ensaio a compressão e tração foi possível obter uma resistência conforme a esperada para utilizar-se o material na confecção de placas cimentícias com adição de pó de borracha de pneus inservíveis para redução de ruídos.



Imagem 20: Placas cimentícias Traço teste Inicial (Fonte: Próprio autor 2021).



IMAGEM 21: Placas cimentícias com pó de Borracha (Fonte: Próprio autor 2021).



IMAGEM 22: Placas convencional (Fonte: Próprio autor 2021).

A pesquisa possibilita uma aproximação de um entendimento da realidade a investigar. Para desenvolver uma pesquisa precisamos definir o método de pesquisa utilizado. Utilizaremos o método de pesquisa experimental. A pesquisa experimental é aprender as relações entre causa e efeito. Para isso a elaboração de instrumentos para a coleta de dados deve ser submetida a testes para assegurar melhor eficácia em medir aquilo que a pesquisa se propõe a medir. Os testes podem ser desenvolvidos em laboratório ou em campo. Desenvolvemos nossos testes no laboratório de acústica da USF.

Objetivo do Teste

O teste proposto tem como finalidade o isolamento acústico usando placas cimentícias com adição de pó de borracha de pneus inservíveis.

Local, data, horário e ambiente que foi proposto o teste:

O local escolhido para o teste foi no Laboratório de Acústica da USF em Bragança Paulista SP, no dia 25/10/2021. Os testes propostos começaram por volta das 19:00hs e terminaram por volta das 20:50hs. O ambiente em que foi proposto o teste é o próprio laboratório de Acústica da USF. No momento do teste a porta estava fechada para inibir o barulho externo gerado no dia a dia. Conforme medição o valor ambiente estava em torno de aproximadamente 31dB.



IMAGEM 23: Aparelho para medição de Ruídos (Fonte: Próprio autor 2021).

O aparelho utilizado para os testes de ruídos foi o **TERMO-HIGRO-SONÔMETRO-LUXÍMETRO-ANEMÔMETRO COM SAÍDA RS-232 MOD. THDLA-500**, equipamento de multiparâmetros com facilidade na realização de medições de intensidade luminosa, temperatura, umidade relativa do ar e nível de pressão sonora.



IMAGEM 24: Caixa de som portátil JBL – utilizada para os testes de Ruídos (Fonte: Próprio autor 2021).

Procedimentos usados para os testes ou ensaios efetuados conforme figuras 25 e 26, foram feitos dois cubos, um cubo com traço convencional e um cubo com traço com adição de pó de borracha, conforme citado no mesmo trabalho. As dimensões são 25 X 25 X 3 cm com paredes internas de 3 cm de espessura simulando um cômodo.

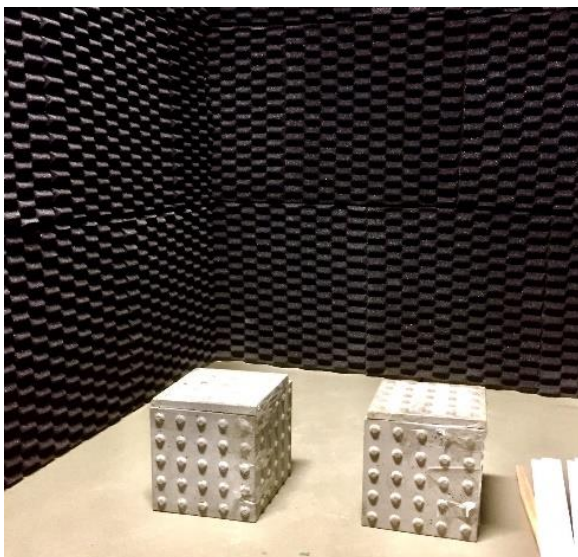


IMAGEM 25: Protótipos para medição de Ruídos (Fonte: Próprio autor 2021).

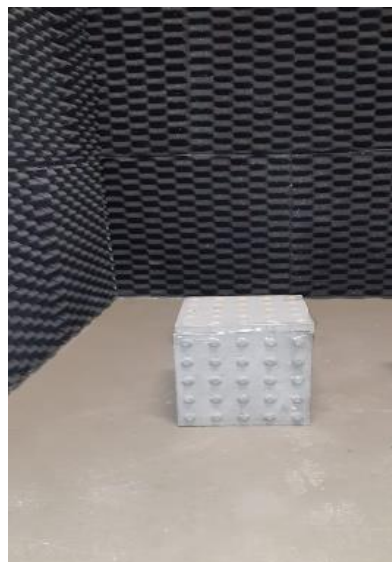


IMAGEM 26: Protótipo desenvolvido de placas Cimentícias com adição de Pó de Borracha (Fonte: Próprio autor 2021).

Os resultados obtidos pelos testes propostos estão mostrados conforme as tabelas abaixo. Medições dos níveis de Pressão Sonora. Os níveis de pressão sonora adquirida em ambiente fechado. (medição efetuada durante 10 segundos para todos os testes de medição). O aparelho utilizado para os testes de ruídos foi o TERMO-HIGRO-SONÔMETRO-LUXÍMETRO-ANEMÔMETRO COM SAÍDA RS-232 MOD. THDLA-500 conforme instrução do manual do fabricante. Sua função é a avaliação dos ruídos no ambiente. Foi colocada uma caixa de som para gerar ruídos externos para medições durante um período de 10 segundos em média para obtenção de valores para verificação de resultados conforme mostra as figuras 27 e 28. Os resultados dos testes são demonstrados nas tabelas 10 e 11.



IMAGEM 27: Medidor de Ruídos fora do Protótipo para captação dos ruídos externos (Fonte: Próprio autor2021).



IMAGEM 28: Medidor de Ruídos dentro do Protótipo para captação dos ruídos externos (Fonte: Próprio autor2021).

Tabela 10 – Teste de Ruídos Protótipo Convencional - Hz

Teste	125	250	500	1K	2K	4K
01	71,1	74,4	81,9	83,0	67,0	62,1
02	71,2	75,1	83,3	84,1	62,2	66,0
03	70,9	74,8	82,2	82,1	67,3	66,7
MÉDIA	71,6	74,8	82,5	83,06	65,5	64,9

Fonte: Próprio autor.

Tabela 11 – Teste de Ruídos Protótipo Traço com Adição de pó de Borracha - Hz

Teste	125	250	500	1K	2K	4K
01	73,1	83,5	87,6	93,0	75,4	70,0
02	73,3	83,7	87,9	95,0	75,9	71,0
03	72,6	83,3	89,0	95,3	76,0	71,9
MÉDIA	73,0	83,5	88,2	94,4	75,8	71,9

Fonte: Próprio autor

Em análise realizada após verificação de resultados apresentados, consideramos que o traço desenvolvido apresenta aproximadamente uma redução de pressão sonora de 8 a 10dB, para faixas de frequência média e alta, quando comparado com um traço convencional, utilizado nos rebocos de construção com finalidade de revestimento. Isso não ocorre para faixas de baixa frequência, onde a redução da pressão sonora se caracteriza em 2dB.

Conclusões

O estudo realizado nas dependências da Universidade São Francisco no Campus Bragança Paulista nos trouxe algumas evoluções relacionadas ao desempenho do pó de borracha empregado na construção civil. A aplicação de borracha, reaproveitada de pneus não utilizáveis na construção civil de maneira discreta, analisando os critérios de resistência à tração, compressão, trabalhabilidade do produto, absorção de água e verificar que a redução da pressão sonora em ambientes fechados foi o intuito deste artigo.

Quanto é citado seu desempenho para a redução de pressão sonora, a conclusão é notável, conseguimos observar que em um traço de concreto seco chegamos a uma redução de aproximados 10 dB em apenas 3 cm de espessura nas placas cimentícias de revestimento, uma redução significativa. Para um melhor desempenho de redução da pressão sonora, as placas poderiam ser combinadas com outras teorias de comportamento acústico de materiais, dentro dessas teorias podemos citar alguns exemplos. Um deles seria a aplicação das placas de revestimento na parte interna e externa da parede, isso funcionaria como uma parede dupla, estima-se que a redução da pressão sonora neste caso subiria para aproximadamente 22dB. Vale observamos que a unidade de medida não é escalar, e sim logarítmica, portanto, as correlações não serão diretamente proporcionais. Uma alternativa para o ganho de desempenho das placas seria aumentas a espessura para termos um maior volume do material absorvente de pressão, influenciando diretamente nos resultados finais quando tratamos do conforto acústico, para isso, teríamos que considerar telas de armação nas placas cimentícias para evitarmos possíveis rupturas quando solicitadas, isso acontece também em uma placa de concreto convencional.

Quando tratamos sobre as propriedades mecânicas, este estudo proporcionou observarmos que o aumento do pó de borracha como agregado no traço de concreto diminui significativamente a trabalhabilidade quanto prejudica a aderência do produto, impedindo sua aplicação diretamente sobre uma parede com chapisco, fazendo-se necessário a produção das placas. Podemos afirmar também, que a variante do quantitativo de água empenhado no traço não é algo simples quando comparado com os traços habituais já praticados na construção civil, a utilização do aditivo superplastificante fez-se completamente necessário tanto para incorporação de traço, como para trabalhabilidade e acabamento da placa cimentícia produzida. Apontando os benefícios nas propriedades mecânicas concluímos que o traço fica muito mais leve que um traço convencional, logo, reduzindo o impacto de carga nas estruturas que consideramos em um cálculo estrutural normalmente. Alcançamos uma densidade de aproximadamente 1610 kg/m³ em nosso traço.

Quando tratamos de um produto com características sustentáveis, a necessidade de reduzir o passivo ambiental representado pelo estoque de pneus descartados que hoje existe, tornou-se inadiável, um debate que crie soluções para minimizar ou reaproveitar estes materiais reciclados que irá incorporar construções de carácter comercial e residencial, podemos afirmar que o impacto ambiental causado pelo sistema de transporte brasileiro será reduzido significativamente quanto ao descarte deste material.

Com os resultados medidos e obtidos podemos concluir que o resultado do produto desenvolvido foi significativo e satisfatório, considerando que é um produto de fácil aplicação, que poderá incorporar a maioria das tipologias construtivas no cenário atual da construção civil. O produto conseguirá proporcionar conforto acústico em grandes centros urbanos, setores administrativos de processos fabris, entre outros, quando comparado com um revestimento convencional.

Agradecimentos Primeiramente agradecemos a Deus por toda essa oportunidade de vida, conhecimento e sabedoria. Agrademos ao nosso Professor Orientador MS Rafael Augusto V. da Cruz Magdalena e à Professora Cândia Maria Costa Baptista. Agradecemos aos nossos familiares, amigos e colegas que tanto nos apoiaram nesses anos de graduação, agradecemos também Universidade São Francisco por todos esses anos de aprendizado e evolução pessoal.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, R.J. N.B.R 7215 – **Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão** - dezembro de 1996. - Acessado em 04 de maio de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, R.J. NBR 6474 – **Cimento Portland e outros Materiais em pó – Determinação da Massa Específica** – outubro de 1984 - Acessado em 04 de maio de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, R.J. NBR 9779 – **Argamassa e Concreto Endurecido – Determinação da Absorção de Água por Capilaridade – Método de ensaio** – março de 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. NBR 12042 – **Materiais inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão** – dez. de 1990 - Acessado em 02 de junho de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,R.J. NBR 8522 – **Concreto – Determinação do Módulo de Deformação Estatística e Diagrama Tensão - Deformação** – maio de 1984 - Acessado em 15 de maio de 2021.

CAVALCANTE, Marcio Maciel. **Propagação do som em um campo aberto**. Disponível: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Propagacao-do-Som-em-um-Campo-Aberto-Fonte-Adapatado-de-Osha-2007_fig1_266894076 - Acessado em 11 de maio de 2021.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **‘Estado da Arte do Concreto como Material de Construção: Aspectos legais e jurisprudenciais**. Número 5. Volume 1. 2016. Disponível em: <www.undb.edu.br/cedis/revistadoceds>

MENEGUINI E.C.A.; **“Comportamento de argamassa com o emprego de pó de borracha”**, tese mestrado, UNICAMP 2003.

RIBEIRO F.C.V.; BOLORINO H; FERNANDES S.A.; **“Análise da influência da adição de pneu na deformabilidade do concreto”**; 44º Congresso Brasileiro do Concreto Belo Horizonte, 2002.

RODRIGUES, M. R. P; FERREIRA, O. P. **Argamassa com partículas de borracha derivada da Reciclagem de pneus inservíveis**. Disponível em <https://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2074_2010.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2021.

SEGRE N.. **“Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento”**. tese de Doutorado, UNICAMP, 1999.

SEST-SENAT – **450 mil Toneladas de pneus são Descartados por ano no Brasil**. Disponível em: <https://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil> - Acessado em 22 de abril de 2021.

SILVA, Narciso Gonçalves da **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de Rocha calcária**: Volume 1 – Curitiba 2006. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/>>

VIANNA, Nelson Solano; RAMOS, José Ovídio. **Acústica arquitetônica & urbana**. Apostila do Curso de Extensão em Arquitetura e Urbanismo da Empresa YCON. 2005, 79 p