

# ADIÇÃO DO PÓ DE BORRACHA DE PNEU NO PREPARO DE CONCRETO PARA APLICAÇÃO EM PISO INTERTRAVADO: ANÁLISE DE RESISTÊNCIA E PERMEABILIDADE

## ADDITION OF TIRE RUBBER POWDER IN THE PREPARATION OF CONCRETE FOR APPLICATION ON INTERLOCKED FLOORS: RESISTANCE AND PERMEABILITY ANALYSIS

Edson Gonçalves Pereira Junior <sup>1</sup>  
Alexandria Vitor Monteiro <sup>2</sup>  
Leticia Martelo Pagoto <sup>3</sup>

### RESUMO

O reaproveitamento dos pneus inservíveis no setor da construção civil, é referente a incorporação das partículas de borracha trituradas no preparo do concreto. Esse estudo visa demonstrar a viabilidade técnica de resistência e permeabilidade dos pisos intertravados, através da incorporação do resíduo de pó de borracha, com resultados obtidos de três artigos científicos, com diferentes granulometrias do pó de borracha. Os materiais utilizados nos três trabalhos científicos foram: Cimento Portland (CP), agregado miúdo e graúdo, resíduos de borracha nos diferentes teores (2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 15%; 20% e 30%) e água. Ao analisarmos os resultados obtidos nos ensaios, após os 28 dias de cura, verificamos que o percentual dos teores de borracha entre 2,5 % e 5 %, mostraram altos valores em unidade MPa de resistência à compressão axial e o percentual dos teores de borracha entre 2,5 %, 5 % e 7,5 %, nos trabalhos 2 e 3, tiveram valores médios do percentual de absorção de água, menores que 6 %. Portanto esse estudo mostrou que os traços de concreto com a incorporação de teores de 2,5% e 5% de resíduos de pó de borracha atenderam satisfatoriamente os requisitos para pavimentos sujeitos a solicitação de veículos comerciais e os teores de 2,5%, 5% e 7,5% de resíduos de pó de borracha, atenderam satisfatoriamente os requisitos nos trabalhos 2 e 3, para caracterização de piso permeável pela absorção de água, conforme as especificações da NBR 9781 (ABNT 2013).

**Palavras-chave:** Pneus Inservíveis, Pisos Permeáveis e Granulometria da Borracha

### ABSTRACT

The reuse of unusable tires in the construction sector refers to the incorporation of crushed rubber particles in the preparation of concrete. This study aims to demonstrate the technical feasibility of resistance and permeability of interlocking floors, through the incorporation of rubber powder residue, with results obtained from three scientific articles, with different particle size of the rubber powder. The materials used in the three scientific works were: Portland Cement (CP), fine and coarse aggregate, rubber waste in different levels (2.5%; 5%; 7.5%; 10%; 15%; 20% and 30 %) and water. When analyzing the results obtained in the tests, after 28 days of curing, we found that the percentage of rubber content between 2.5% and 5% showed high values in unit MPa of resistance to axial compression and the percentage of rubber content between 2.5%, 5% and 7.5%, in works 2 and 3, had average values of the percentage of water absorption, lower than 6%. Therefore, this study showed that concrete mixtures with the incorporation of 2.5% and 5% of rubber powder residues satisfactorily met the requirements for pavements subject to requests from commercial vehicles and the 2.5%, 5 % and 7.5% of rubber powder residues, satisfactorily met the requirements in works 2 and 3, for characterizing a floor permeable by water absorption, in accordance with the specifications of NBR 9781 (ABNT 2013).

**Keyword:** Waste Tires, Permeable Floors and Rubber Particle Size

---

<sup>1</sup> Graduando do curso de Engenharia Civil, das Faculdades Integradas "Rui Barbosa" (FIRB), Universidade Brasil – e-mail: edseg.servicos@gmail.com

<sup>2</sup> Graduando do curso de Engenharia Civil, das Faculdades Integradas "Rui Barbosa" (FIRB), Universidade Brasil – e-mail: alexandriamonteiro37@gmail.com

<sup>3</sup> Professora do curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas "Rui Barbosa" (FIRB), Universidade Brasil. Mestre em Engenharia Civil (FEIS-UNESP) e doutoranda em Ciência dos Materiais- Ciência e Engenharia dos Materiais (FEIS-UNESP) – e-mail: leticia.000145@firb.br

## 1 INTRODUÇÃO

A velocidade das inovações tecnológicas em todos os setores é algo inédito, entretanto isso tem gerado diversas inquietações nos pesquisadores, pois da mesma forma que são gerados novos produtos, outros caem em desuso e são descartados. Outros produtos são descartados devido ao fim de suas vidas úteis, como é o caso dos pneus que, dada a necessidade de modernização e utilização dos meios de transporte, têm sido cada vez mais produzido, utilizado e descartado, porém uma questão entorno desses objetos remete à preservação ambiental após o descarte e devido a esse motivo tem sido promovida a reciclagem de pneus, a fim de contribuir com o meio ambiente por meio de alternativas sustentáveis.

Ao grande crescimento da indústria automobilística no Brasil, começaram as problemáticas com os pneus utilizados pelos automóveis que chegaram ao estado final de sua utilização, causando assim um grande impacto no meio ambiente.

Não só Brasil, como em outros países do mundo existe um grande volume de resíduos provenientes da indústria de pneus vem sendo descartado anualmente de forma inadequada ao meio ambiente. O setor da construção civil é uma forma de absorver esses resíduos industriais, e contribuir para a redução da exploração de agregados naturais evitando a deposição de materiais inservíveis.

Tem sido estudado a possibilidade de várias formas para a utilização desses pneus serem usados como agregado em concretos de cimento Portland, em pisos intertravados, e em várias outras possibilidades de utilização para que não haja descarte indevido, e contribua para o meio ambiente de forma positiva. As pesquisas tem uma estimativa que só no Brasil produz cerca de 32 milhões de pneus por ano, e descarta cerca de 300 mil toneladas de sucata por mês, sendo que dessas 300mil toneladas, apenas 10% são reciclados, o restante sem jogados em lugares inapropriados causando uma catástrofe para o meio ambiente, mesmo com todos os esforços do poder público em conscientizar a população do risco que é gerado esse mal descarte e qual o risco que isso pode estar causando para a sociedade em geral tanto na saúde como na atmosfera as pessoas ainda insistem em descartar em qualquer lugar gerando o grande risco de risco de contaminarem com a dengue, e outras doenças causadas por acúmulos de água em sucatas acumuladas, além das doenças descartados em lugares errados facilitam a obstrução m canais rios causando assim enchentes.

Ressaltando a importância de se buscar cada vez mais alternativas sustentáveis em diversos âmbitos, espera-se que este trabalho dialogue com o setor de construção civil e contribua direta e indiretamente com a preservação do meio ambiente, bem como contribua para a questão da sobrecarga de aterros devido ao descarte incorreto de pneus inservíveis.

A granulometria dos agregados tem papel fundamental no desempenho do revestimento. Roberts et al. (1996) apontam durabilidade, estabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, vida de fadiga, aderência, resistência à umidade e

rigidez como propriedades influenciadas pela granulometria da mistura (PINHEIRO, 2004).

Com isso, se busca, neste trabalho, expor as especificidades a respeito do módulo de finura, em razão de caracterizar fisicamente os materiais utilizados, bem como as normas seguidas para a utilização deles. Além disso, há também uma breve exposição dos ensaios que são realizados para determinar a resistência.

Ressaltando a importância de se buscar cada vez mais alternativas sustentáveis em diversos âmbitos, espera-se que este trabalho dialogue com o setor de construção civil e contribua direta e indiretamente com a preservação do meio ambiente, bem como contribua para a questão da sobrecarga de aterros devido ao descarte incorreto de pneus inservíveis.

Os pavimentos permeáveis podem ser considerados um novo sistema de drenagem, na qual permite que a água se movimente através da sua estrutura porosa, impedindo acumulações na superfície que podem ser prejudiciais, quer para a sua própria durabilidade, quer para a segurança dos utentes (Tenreiro, R. J. C., 2016).

O pavimento permeável ou poroso, é um pavimento que pelas suas características permite a passagem de água e ar pela sua estrutura porosa. As suas propriedades de permeabilidade e porosidade elevada permitem que este tipo de solução, independentemente do local de instalação, influencie significativamente a hidrologia da zona, permitindo uma redução da taxa de escoamento superficial (Tenreiro, R. J. C., 2016).

De acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR 9781:2013, a absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco, determinando a absorção de água nas peças de concreto para pavimentação.

Nesse cenário, o trabalho busca um estudo, através da pesquisa científica adequadas e o desenvolvimento de um método de análises práticas críticas acerca da fabricação de pisos intertravados com a mistura do agregado do pó da borracha na sua fabricação como um todo.

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a viabilidade técnica dos pisos intertravados, através da incorporação do resíduo de pó de borracha no preparo do concreto, a fim de interpretar os resultados dos ensaios de composição granulométrica, compressão axial para verificação de resistência e do ensaio de determinação da absorção de água para verificação de permeabilidade, obtidos de trabalhos e artigos de caráter científicos selecionados através do levantamento bibliográfico de caráter descritivo e exploratório.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos seguintes itens serão abordadas as questões relacionadas ao reuso dos pneus após o uso automobilístico, como as problemáticas ambientais ocasionadas pelo incorreto descarte de pneus inservíveis, fornecer direcionamentos e reflexões a respeito da importância da reciclagem dos pneus, que podem ser utilizados para diversos fins, bem como elencar materiais que podem ser utilizados na fabricação de pisos intertravados.

### 2.1 Pneus inservíveis e o impacto ambiental

Atualmente tem se discutido a questão do meio ambiente em diversos setores, visto que o desenvolvimento tecnológico fez com que ao mesmo passo que diversas melhorias fossem realizadas, mas, por outro lado, também houve impactos negativos na natureza, que foram desencadeados por esse desenvolvimento. Tal fato culminou em diversas iniciativas de promoção à sustentabilidade e alternativas de reaproveitamento de diversos materiais.

Dito isso, no Brasil, algumas políticas foram implantadas para regulamentar o reaproveitamento de alguns materiais sólidos, como é o caso da Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que se refere à Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil (THIAGO & BICALHO, 2018).

Silva (2016) argumenta que “Identificar o potencial de uso resíduos industriais, deve ser entendido como uma filosofia de gerenciamento, observando-se, igualmente, critérios técnicos, econômicos e ambientais associados à sua geração, manuseio, processamento, estocagem e destinação final.”. Com base nesse excerto da autora, se ressalta que a questão de reutilizar os materiais residuais deve ser não somente uma questão ambiental, mas de interesse político, econômico e social, visto que iniciativas como essa tanto contribui com toda a sociedade, como necessita que toda sociedade seja consciente de seu papel e esteja envolvida colaborativamente.

No caso dos pneus inservíveis, tem se pensado e buscado a redução de impactos ambientais, bem como tem sido analisadas alternativas sustentáveis de reaproveitamento dos materiais utilizados na fabricação dos pneus, motivadas pela escassez de recursos naturais e os altos custos das matérias-primas.

Outro fator importante na contribuição do aumento da discussão sobre alternativas sustentáveis dos pneus inservíveis é o fato de que há uma alta produção desses produtos, mas que eles não são reaproveitados corretamente, pois, em sua maioria, eles vão para aterros sanitários o que acarreta em diversos problemas, a saber: redução do espaço útil dos aterros, acumulação de água que contribui para a proliferação de mosquitos transmissores de doenças, aumenta o risco de incêndio nos aterros (o que pode causar na produção de fumaça poluidora de SO<sub>2</sub>, ou dióxido de enxofre), entre outros problemas (THIAGO & BICALHO, 2018).

Alarmantemente, conforme Thiago e Bicalho (2018), o número de descarte irregular de pneus no Brasil é de cerca de 100 milhões, conforme a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, ou ANIP, e que há uma grande falta de conscientização da população a respeito da forma em como esses pneus devem ser descartados, bem como há desinformação a respeito da importância da reutilização dos pneus inservíveis.

Em contrapartida dessa situação, poderiam ser realizadas atividades de conscientização nos institutos educacionais através de parcerias com iniciativas privadas, a fim de promover a reciclagem desse material, pois a reciclagem tem como objetivo gerar novos produtos a partir de produtos utilizados anteriormente, ou seja, reaproveitar matéria-prima – que no caso seriam as dos pneus – e que fomentaria ainda mais a geração de empregos e renda, contribuindo com a situação negativa do desemprego no Brasil.

Logo, é ímpar que a situação dos pneus inservíveis seja paulatinamente discutida, a fim de que seja promovida alternativas para o uso desses materiais após o descarte, contribuindo com a sustentabilidade e o desenvolvimento de novos produtos, como é o que se tem visto promissora no setor de construção para a fabricação de concreto.

## **2.2 Reutilização e reciclagem de pneus**

Os pneus demoram 600 anos para se decomporem e, conforme os dados do Serviço Social de Transporte, ou SEST, no Brasil são geradas 450 mil toneladas por ano, o que se refere ao número de 90 milhões de unidades utilizadas nos automóveis (DORNELES, 2018).

Para que esses números não se tornem um problema ambiental, é imprescindível que sejam promovidas e difundidas maneiras de se reaproveitar os pneus, o que leva ao ato de reciclar esses produtos. Logo, conforme Dorneles (2018), existem algumas maneiras de se reutilizar esses produtos, entre elas:

- Como muros de gravidade e obras de contenção: para utilização dos pneus com esta finalidade, os pneus devem ser amarrados lado a lado com arame ou cordas para que sejam preenchidos com solo ou material pétreo. O uso de pneus para realização desse tipo de estrutura possui baixo custo, pois faz uso de pneus descartados;
- Estruturas de absorção de energia ou barreiras de inércia: se refere ao uso de pneus para formar barreiras que são capazes de absorver impactos de acidentes em rodovias;
- Controle de erosão: este caso se refere ao uso de pneus para o controle de erosão ocasionada por ventos, enchentes e ressacas. Pode ser bastante benéfico para a construção de barreiras em regiões desérticas e/ou próximas de dunas de areias. Além disso, esse uso dos pneus também pode ser realizado em casos com plantas de raízes grandes, evitando a erosão do solo;

- Estabilidade de ombreiras: uma boa alternativa econômica, os pneus utilizados na estabilidade de ombreiras como gabiões, já são uma realidade nos dias atuais;
- Geogrelha: experimentalmente, em 1985, no estado de Minnesota nos Estados Unidos, foi feito o uso de pneus inservíveis inteiros como geogrelha em ambientes de solo mole e para que os resultados fossem publicados foram realizadas diversas novas seções durante dois anos, as quais apresentaram resultados satisfatórios após os testes;
- Obras de drenagem: a substituição de bueiros por pneus em obras de drenagem é algo bastante conhecido e consiste no uso de pneus presos uns aos outros em forma de tubo para comporem módulos;
- Utilização de borracha de pneus em misturas asfálticas: utilizado desde 1930, o uso de borracha em misturas asfálticas tinha a finalidade de selar trincas no pavimento, servindo como uma alternativa de baixo custo para o reparo, mas, atualmente, após a expansão de estudos sobre o assunto, a borracha advinda de pneus inservíveis tem sido utilizada em pavimentos completos, tendo recebido o nome de Asfalto-Borracha;
- Utilização de granulometrias da borracha: consiste no uso de borracha, proveniente de pneus inservíveis após a reciclagem, para a produção de blocos de concreto.

### **2.3 Composição granulométrica do pó de borracha oriunda de pneus**

Uma das possibilidades de se reciclar os pneus inservíveis é no aproveitamento do granulado de borracha no setor de construção civil gerado através de algumas etapas de reciclagem, nas quais “os pneus são triturados, granulados e o aço é removido por meio de uma esteira magnética” (THIAGO & BICALHO, 2018). Após esses processos, se obtém o granulado de borracha para ser utilizado na produção de concreto, diminuindo os impactos ambientais ocasionados pelo mal descarte dos pneus.

Bertollo et al. (2002) observaram que misturas modificadas com agregado de borracha com granulometria fina (1,18 – 0,15mm) possuíam um melhor desempenho quanto à deformação permanente e flexibilidade, quando comparadas a misturas convencionais, enquanto misturas com Agregado-Borracha de granulometria mais grossa (9,5 – 0,60mm) mostraram um excesso de deformação permanente e maior resiliência.

Tais resultados ratificam a teoria de que as partículas finas de Agregado-Borracha reagem parcialmente com o ligante, enquanto as partículas maiores funcionam como agregados elásticos (GREEN, 1998; BERTOLLO et al., 2002). Juntamente com a granulometria, o tempo para que haja uma interação entre ligante e borracha, denominado tempo de digestão, são fatores de maior importância para o desempenho de misturas com Agregado-Borracha (HORODECKA et al., 2000; MOMM e SALINI, 2000; OLIVER, 2000; PINHEIRO e SOARES, 2003; SPECH et al., 2003).

No que diz respeito à caracterização física dos agregados e materiais utilizados, segue-se as exigências da norma NBR NM52 de forma adaptada, em que se realiza uma substituição da água por álcool etílico. Ademais, quanto a massa dos agregados utilizada no procedimento, para a areia fina foi seguida a norma NB NM52 e para a brita seguiu-se a norma NBR NM53. A quantidade de massa unitária dos agregados foi determinada conforme a NBR NM45, e por fim, para que os agregados possam ser classificados conforme à granulometria, é realizado o peneiramento mecânico, que segue os postulados da NBR 7211.

Assim, conforme Lintz (2010) é possível caracterizar os agregados naturais e reciclados da seguinte forma (Tabela 1):

**Tabela 1** – Caracterização física dos agregados naturais e reciclados.

<b>Material</b>	<b>Massa específica (kg/l)</b>	<b>Massa unitária (kg/l)</b>	<b>Dimensão máxima característica (mm)</b>	<b>Módulo finura</b>
areia fina	2,57	1,35	2,4	1,95
areia média	2,55	1,42	2,4	2,43
areia grossa	3,02	1,8	4,8	2,71
agregado graúdo natural	2,94	1,52	9,5	7,49
borracha reciclada (pó)	1,24	0,45	2,4	3,09
borracha reciclada (fibras)	0,90	0,39	4,8	2,32

Fonte: Lintz (2010).

## **2.4 Pavimento impermeável: enchentes urbanas**

Uma das causas deste problema de enchente urbana é a não infiltração da água da chuva no solo, onde permanece sobre a superfície do piso impermeável, não atingindo os lençóis freáticos, este processo vem se tornando recorrente devido o grande crescimento das cidades e o aumento das construções civis, como por exemplo, a pavimentação asfáltica que reduz a permeabilidade do solo, pois o concreto e o asfalto não permitem que o solo absorva a água da chuva, além disso, a ausência de bueiros nas ruas agrava esta situação, pois estes contribuem na contenção das águas, porém somente a utilização deles não sana o problema em questão, já que, em decorrência da poluição os mesmos acabam entupidos sem conseguir exercer a sua função (PROENÇA et al., 2019).

As enchentes urbanas resultam em consequências drásticas, principalmente pelos altos prejuízos humanos e econômicos, decorrentes ao transbordamento dos rios que atinge anualmente diversas zonas urbanas, e pela à inundação de casas e

comércios, há um alto prejuízo em termos econômicos, como a perda de diversos objetos, máquinas e equipamentos.

Assim a engenharia civil visa construções com formas de amenizar este impacto nos centros urbanos, para isto, propõe-se a utilização do pavimento permeável, pois por ser poroso facilita o escoamento da água e ajuda a retardar a chegada da mesma ao subleito, reduzindo a erosão hídrica do solo e futuras enchentes.

## **2.5 Pavimentos permeáveis: piso intertravado**

De acordo com o Tenreiro R. J. C. (2016), os principais motivos que resultaram em estudo e na utilização de pavimentos impermeáveis, foram decorrentes ao aumento exagerado das superfícies impermeáveis devido ao rápido crescimento populacional, que combinado com eventos de precipitação intensa provocaram uma sobrecarga nos sistemas de drenagem existentes e consequentes inundações, também na acumulação de água no pavimento, provocando um decréscimo na segurança e conforto dos utentes da via e na diminuição do nível de emissão de ruídos em comparação com o pavimento convencional.

Para que os pisos intertravados possam ser considerados como permeáveis, eles devem ser assentados com junta alargada, e posteriormente preenchidas com material permeável, por exemplo, areia grossa.

Os pavimentos permeáveis podem ser divididos em quatro tipos, os pavimentos com revestimento drenante com ou sem infiltração no solo e os pavimentos com revestimento impermeável com ou sem infiltração no solo (TENREIRO, 2016).

Esse pavimento permeável é capaz de drenar 10-3 m/s, o que significa que toda a estrutura do piso, deve atender esse número mínimo de permeabilidade, o que implica em toda a estrutura permeável, contrário do que vemos em muitas obras, onde apenas se aplica o bloco drenante, mas as camadas inferiores são pouco ou quase nada permeáveis.

Os pavimentos permeáveis assumem essa denominação, decorrente as funções realizadas pela matriz porosa, sendo caracterizados pela sua: função mecânica, associada ao termo estrutura, que permite suportar os carregamentos impostos pelo tráfego dos veículos e pela função hidráulica, associada ao termo reservatório, que assegura, tendo em conta os vazios entre materiais, reter temporariamente as águas seguido pela drenagem e, se possível, infiltração no solo do subleito.

Quanto ao funcionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis, esse processo tem como base, três aspetos fundamentais: concentração temporária da água no interior do pavimento; entrada imediata da água da chuva na estrutura do pavimento e o escoamento lento da água por infiltração no solo, por drenagem, através da rede respetiva, ou uma combinação de ambas as formas.

Referente a pavimentos permeáveis: pisos intertravados poder ser aplicada para vários tipos de tráfego. São geralmente aplicados sobre uma camada de areia que confere ao pavimento a porosidade e permeabilidade exigida. Este tipo de pavimento apresenta uma vida útil bastante alargada, assim como uma durabilidade e resistência bastante mais longa. Quando assentes devem ser confinados a bordas rígidas que impeçam que os blocos fiquem livres de tensão e corram o risco de se soltar. Habitualmente são limitados nas extremidades a sarjetas ou vigotas.

Na composição do concreto dos pisos intertravados também é possível incorporar agregados reciclados e/ou resíduos sólidos em substituição parcial aos agregados naturais “areia”. O Pó da borracha de pneus é um dos materiais que têm sido largamente empregada na fabricação de concretos. Alguns estudos mostram que a utilização deste tipo de resíduo em concretos tem trazido benefícios ao meio ambiente, além de melhoria de algumas propriedades mecânicas, tais como: aumento da ductilidade, da capacidade de absorção de energia, da tenacidade, da energia de fratura, de propriedades dinâmicas e da resistência ao impacto (SILVA et al., 2017).

## **2.6 Ensaio de compressão axial para verificação da resistência dos pisos intertravados**

Para a produção e moldagem dos corpos de prova utiliza-se uma betoneira intermitente de eixo inclinado, em que os materiais são colocados para que possam seguir para a próxima etapa, a etapa de fabricação dos pisos intertravados, que é realizada em vibro-prensa e segue as especificações da norma NBR 9780. Após a cura das peças de concreto, segue-se para a execução dos ensaios e capeamento dos pisos (LINTZ, 2010).

Conforme Lintz (2010), alguns ensaios são realizados para determinar algumas especificidades do material obtido, a saber:

- Ensaio para a determinação da resistência à compressão: A determinação da resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm são realizada segundo a NBR 5739. Os corpos de prova são rompidos em uma prensa universal para ensaios, a velocidade de carregamento constante, após 28 dias de cura. A determinação da resistência à compressão das peças de pisos intertravados seguiu a NBR 9780, realizada também aos 28 dias de idade.
- Ensaio para a Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral: Na verificação da resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222), são empregados corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm, ensaiados aos 28 dias de idade, rompidos em uma prensa universal para ensaios, a velocidade de carregamento constante.
- Ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão: Para a determinação da resistência à tração na flexão, são utilizados corpos-de-prova prismáticos 15 x 15 x 50 cm de concreto com borracha, aos 28 dias de idade.

## 2.7 Absorção de água em pavimento piso intertravado

Segundo a Norma Brasileira NBR 9781 (ABNT, 2013), a amostra de peças de concreto, por exemplo, piso intertravado deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%, a partir de ensaio de determinação da absorção de água.

Em relação a determinação da absorção de água por imersão em corpos-de-prova cilíndricos deve ser realizada conforme as especificações da NBR 9778:2009, aos 28 dias de idade.

Na saturação, são imersos os corpos de prova em água à temperatura de  $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ , por 24h, após pesar individualmente cada corpo de prova na condição saturada com superfície seca, que é obtida drenando o corpo de prova sobre uma tela metálica por 1min e removendo a água superficial visível com um pano úmido. Anotar o valor encontrado. De modo a repetir este procedimento a cada 2h, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa saturada  $m_2$  (NBR 9778:2009).

Na secagem deve levar os corpos de prova saturados à estufa com temperatura a  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ , mantendo esta condição por 24h, após pesar individualmente cada corpo de prova na condição seco em estufa. Anotar o valor encontrado e repetir este procedimento a cada 2h, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa seca  $m_1$ . A operação de pesagem e anotação do valor deve ser de no máximo 10min, com o corpo de prova fora da temperatura da estufa (NBR 9778:2009).

De acordo com o Anexo B da Norma Brasileira NBR 9781 (ABNT, 2013), o valor da absorção de água de cada corpo de prova deve ser calculado utilizando-se a equação:

$$A = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100$$

Onde:

A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

$m_1$  é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

$m_2$  é a massa do corpo de prova saturado em água, expressa em gramas (g).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesse trabalho consiste em um levantamento bibliográfico de caráter descritivo e exploratório, com abordagem quantitativa de resultados oriundos de experimentos com a incorporação do pó de borracha em substituição parcial do agregado areia, no preparo do concreto utilizado na fabricação de pisos intertravados, analisados pelos tratamentos aplicados nos artigos científicos selecionados.

A pesquisa bibliográfica constitui-se em fonte secundária, através da busca de informações em material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações, anais de eventos científicos, bem como o material disponível pela internet que são de interesse para a pesquisa, onde a principal vantagem da pesquisa bibliográfica consiste no fato de permitir o pesquisador uma cobertura de fenômenos mais amplo do que aquela que poderia pesquisar diretamente (GIL, 2010).

No levantamento bibliográfico foram analisados e demonstrados os resultados dos seguintes artigos científicos, intitulados como:

Trabalho 1 - Estudo da utilização de agregados de pneus inservíveis em concreto para aplicação em pisos intertravados (SÃO THIAGO & BICALHO, 2018);

Trabalho 2 - Análise microscópica de concreto pigmentado com resíduos de borracha aplicado em piso intertravado (SILVA et al., 2020);

Trabalho 3 - Avaliação do comportamento de concreto contendo borracha de pneus inservíveis para utilização em pisos intertravados (LINTZ, 2010);

Foram selecionados três trabalhos científicos, onde os estudos demonstraram resultados de experimentos com diferentes granulometrias do pó de borracha de pneus, incorporados no preparo do concreto para modelagem dos corpos de provas submetidos ao ensaio de compressão axial para análise de resistência, conforme as Normas Brasileiras – NBR 5739/2018 e ao ensaio de absorção de água “permeabilidade”, conforme a Norma Brasileira – NBR 9778:2009.

Os materiais utilizados nos três trabalhos científicos foram: Cimento Portland (CP), agregado miúdo (areia natural e pó de pedra), agregado graúdo, resíduos de borracha nos diferentes teores (2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 15%; 20% e 30%) e água.

Para a determinação da composição granulométrica dos agregados, em especial, o pó de borracha de pneu, foram realizados os ensaios granulométricos através do conjunto de peneiras sucessivas que atendem à ABNT NBR 7217/1987, conforme demonstrado no trabalho científico intitulado Produção de concreto para piso intertravado com adição de resíduos de borracha de pneu inservível (Marques et al. 2019).

Em relação ao procedimento de moldagem, cura e ensaios para determinação da resistência à compressão em concreto, os artigos científicos consultados, seguiram as orientações da ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, ABNT 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos e ABNT/NBR 9781/2013 - Peças de concreto para

pavimentação – especificação, garantindo o controle da qualidade das peças fabricadas.

Referente ao ensaio de compressão axial demonstrados nos artigos científicos estudados, os corpos de provas de fôrmas cilíndricas 10 x 20 cm e prismáticas 15 x 15 x 50 cm, limpas e calafetadas, foram colocados na prensa universal e alinhados de forma que o seu centro de gravidade fique alinhado ao centro de carga dos cilindros de aço superior e inferior, na qual recebe uma aplicação de carga de compressão a uma velocidade constante (Lintz, 2010).

Referente ao ensaio de determinação da absorção de água demonstrados nos artigos científicos estudados, foram utilizados corpos de prova retangulares de pisos de concreto de dimensões 200 x 100 x 60 mm para cada traço estudado, conforme a ABNT NBR 9781, considerando as seguintes etapas: preparação do corpo de prova com a retirada do pó e partículas soltas com auxílio de uma escova; imersão dos corpos de prova em água à temperatura de 23°C, por 24 horas; pesagem do corpo de prova na condição saturada com superfície seca, anotando-se sua massa saturada  $m_2$ ; colocação dos corpos de prova saturados na estufa a temperatura de 110°C, por 24 horas e pesagem do corpo de prova na condição seco em estufa, anotando-se sua massa seca  $m_1$ , após aplicar o cálculo da equação do Anexo B da Norma Brasileira NBR 9781 (ABNT, 2013).

## **4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **4.1 Ensaio de composição granulométrica do pó de borracha**

De acordo com o Marques et al. (2019) e Silva et al. (2017), o ensaio de composição granulométrica do pó de borracha, apresenta o maior percentual de partículas retidas de pó de borracha na peneira de 0,6 mm de malha número 30 e o módulo de finura – MF com variação equivalente 3,25 a 3,49, demonstrando que o pó da borracha não pode ser considerado como agregado fino, pois estão superiores aos valores de MF de 2,50 a 3, que caracteriza normais para agregados finos (Tabela 2).

Ressalto que o aumento do módulo de finura pode ocasionar um aumento no teor de ar incorporado, a diminuição na retenção de água, o maior índice de consistência e menor energia necessária para o espalhamento.

**Tabela 2 - Granulometria do resíduo de borracha**

Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada
6,3	52,98	5,3	5,3
4,75	27,9	2,79	8,09
2,36	113,09	11,32	19,41
1,18	216,17	21,64	41,05
0,6	277,86	27,84	69
0,297	183,36	18,35	87,24
0,15	92,92	9,3	96,54
-	34,62	3,46	100
Total	998,9	100	
Dimensão máxima (mm)		6,3	
Módulo de finura		3,25	

Fonte: MARQUES et al. (2019)

#### 4.2 Ensaio de compressão axial para verificação da resistência

Ao relacionar às propriedades mecânicas do concreto com a incorporação do pó de borracha de pneus, a resistência à compressão axial diminui com o aumento dos teores de borracha na mistura, sendo desfavorável a substituição de agregado, pelos teores superiores a 20 % de pó de borracha. (LINTZ et al., 2010; THIAGO E BICALHO, 2018).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 9781 (ABNT, 2013), especifica que a resistência característica estimada à compressão simples aos 28 dias de cura, do concreto de blocos intertravados, deve ser de, no mínimo, 35 MPa, para pavimentos sujeitos a solicitação de veículos comerciais, e de, no mínimo, 50 MPa, para o tráfego de veículos especiais. (Lintz, 2010).

Segundo Freitas et al. (2007), recomendam a viabilidade da incorporação de 5% a 10% de pó de borracha em concretos empregados na fabricação de blocos intertravados (Figura 1).

Ao analisarmos os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial após os 28 dias de cura, nos artigos científicos de número 1,2 e 3, verificamos que o percentual do teor de borracha entre 2,5% à 5 %, mostraram com altos valores em unidade MPa de resistência à compressão axial dos corpos de provas, quando submetidos ao ensaio na prensa universal, atendendo a resistência exigida na NBR 9781 - ABNT, 2013 (Tabela 3).

**Tabela 3** – Demonstração dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial nos trabalhos selecionados, após os 28 dias de cura.

TEORES DE PÓ DE BORRACHA (%)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)		
	TRABALHO 1	TRABALHO 2	TRABALHO 3
0	24,53	39,90	39,00
2,5	----	35,20	35,00
5,0	24,60	43,30	33,00
7,5	----	----	18,50
10	19,76	26,40	10,00
15	19,89	----	----
20	12,66	26,40	----
30	----	17,10	----

Fonte: SÃO THIAGO & BICALHO, (2018); MARQUES et al. (2019); SILVA et al. (2020).

**Figura 1** – Corpos de prova rompidos sem e com adição de pó de borracha de pneu inservível



Fonte: MARQUES et al., 2019.

### 4.3. Ensaio de determinação de absorção de água por imersão

A Associação Brasileira de Normas Técnicas– NBR 9781 (ABNT, 2013), a amostra de peças de concreto, por exemplo, piso intertravado deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%, a partir de ensaio de determinação da absorção de água.

Ao analisarmos os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água após os 28 dias de cura dos corpos de prova, no trabalho científico de número 2, verificamos que os percentuais dos teores de borracha de 2,5%, 5 %, 10 %, 20% e 30%, mostraram valor médio de absorção menores que previsto na NBR 9781:2013. Enquanto no trabalho de número 3, somente os percentuais dos teores de borracha de 2,5% e 7,5 %, enquadra se no valor médio menor ou igual a 6% (Tabela 4).

**Tabela 4** – Demonstração dos resultados dos ensaios de determinação de absorção da água nos corpos de prova especificados nos trabalhos selecionados

TEORES DE PÓ DE BORRACHA (%)	ABSORÇÃO D'ÁGUA (%)		
	TRABALHO 1	TRABALHO 2	TRABALHO 3
0	10,06	2,02	3,50
2,5	----	<b>5,22</b>	<b>3,80</b>
5,0	16,44	<b>5,24</b>	6,50
7,5	----	----	5,30
10	12,30	5,36	6,50
15	18,84	----	----
20	----	5,26	----
30	----	5,49	----

Fonte: SÃO THIAGO & BICALHO, (2018); SILVA et al. (2020); LINTZ, (2010)

Ressalto que os resultados descritos no trabalho 1, referente a absorção de água dos corpos de prova, não atende ao requisito previsto na Normas Técnicas (ABNT) – NBR 9781:2013, decorrente ao fato da granulometria do pó de borracha utilizados serem de dimensões superiores a 1,18 mm.

Os resultados de absorção de água dos pisos intertravados de concreto demonstram que a substituição de parte da areia pelos resíduos de borracha nos concretos aumenta a absorção de água e a tendência a diminuição da resistência à compressão referenciada no artigo Adição do pó de borracha de pneu no preparo de concreto para aplicação em piso intertravado (PEREIRA, et al, 2022).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação do resíduo de pó de borracha em substituição ao agregado de partículas minerais, no preparo do concreto para fabricação dos pisos intertravados, observamos os seguintes resultados:

- Os ensaios de resistência à compressão axial, demonstrados nos três artigos científicos estudados, tiveram uma diminuição da resistência do concreto nos corpos de prova - CPs, com teor crescentes de pó de borracha na mistura, sendo inviável tecnicamente a substituição de teores acima de 20 %, isso se deve ao fato da granulometria do pó de borracha não ser enquadrado como agregados finos, aumentando a porosidade “espaços vazios” e a absorção de água, embora os teores de 2,5% à 5 %, ocorresse um pequena redução da resistência à compressão nos CPs.
- No ensaio de absorção de água, demonstrados nos trabalhos científicos estudados de número 2 e 3, com percentuais dos teores de borracha entre 2,5% a 7,5 %, tiveram valores médios do percentual de absorção de água, menores que 6 % e com isso atender as Normas Técnicas– NBR 9781 (ABNT, 2013), isso se deve ao fato da granulometria do pó de borracha nas peneiras de 0,6 a 1,18 mm, não ser enquadrado como agregados finos, aumentando a porosidade “espaços vazios” e a absorção de água.

Assim ao incorporamos teores altos de pó de borracha no concreto, acima do nível viável tecnicamente, resultará na fragilidade do agregado de borracha, tornando a estrutura do concreto mais porosa e mais fraca, decorrente ao aumento da zona de transição e pela estrutura da pasta menos densa dos concretos e pelo alto percentual de absorção de água.

Portanto o presente estudo mostrou que os traços de concreto com a incorporação de teores de 2,5% e 5% de resíduos de pó de borracha oriundo de pneus inservíveis atenderam satisfatoriamente os requisitos para pavimentos sujeitos a solicitação de veículos comerciais, conforme as especificações da NBR 9781 (ABNT 2013), e os teores de 2,5%, 5% e 7,5% de resíduos de pó de borracha, atenderam satisfatoriamente os requisitos nos trabalhos 2 e 3, para caracterização de piso permeável pela absorção de água, em cumprimento a NBR 9781:2013.

## AGRADECIMENTOS

Iniciamos os agradecimentos primeiramente a Deus, a orientadora, Professora Mestre Leticia Martelo Pagoto, pelo apoio incondicional, pela disponibilidade e principalmente pela amizade. Também a Faculdade Integrada Rui Barbosa - FIRB, pelo contributo e condições disponibilizadas durante a nossa formação e a todos os docentes que marcaram este nosso percurso acadêmico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Agregados - Determinação da composição granulométrica – NBR 7217**, Rio de Janeiro (1987).

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – NBR 9778**, Rio de Janeiro (2009).

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova – NBR 5738**, Rio de Janeiro (2015).

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – NBR 5739**, Rio de Janeiro (2018).

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Peças de concreto para pavimentação – NBR 9781**, Rio de Janeiro (2013).

DORNELES, Fabrício Fagundes. **Viabilidade técnica da produção de ligante modificado com borracha de pneus inservíveis pelo processo úmido (wet process) através do sistema não estocável (continuous blending), para concreto asfáltico**. 2018. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em:

[http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/9575/Fabricio%20Fagundes%20Dorneles\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/9575/Fabricio%20Fagundes%20Dorneles_.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 20 out. 2022.

Freitas, C.; Portella, K. F.; Gomes Filho, C.; Joukoski, A. **Concreto com adição de borracha para uso na confecção de blocos intertravados**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 49º, Bento Gonçalves, Anais, 49CBC 0148, (2007).

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010. Disponível

em:[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo\\_C1\\_como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf). O Google gera automaticamente versões em HTML de documentos à medida que rastreia a WebAcesso em: 20 out. 2022.

LINTZ, Rosa Cristina Cecche BARBOSA, Luísa Andréia Gachet; SEYDELL, Maria Rachel Russo; JACINTHO, Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Avila. Avaliação do comportamento de concreto contendo borracha de pneus inservíveis para utilização em pisos intertravados. **UNICAMP**, n.37, 2010. Disponível em: <https://www.civil.uminho.pt/revista.ufrj.br/>. Acesso em: 19 out. 2022.

MARQUES, Samuel Guilherme Freire; SOUSA, Aline Islia Almeida de; SILVA, Adeildo Cabral da; ALCÂNTARA, Perboyre Barbosa. Produção de concreto para piso intertravado com adição de resíduos de borracha de pneu inservível. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 8, p. 11260-11275 aug. 2019. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/2672>. Acesso em: 19 out. 2022.

PEREIRA, Edson Gonçalves Junior; MONTEIRO, Alexandria Vitor; PAGOTO, Leticia Martelo. Adição do pó de borracha de pneu no preparo de concreto para aplicação em piso intertravado. **III SIMCAD – Simpósio de Contabilidade, Administração e Direito & I SIMULT – Simpósio Multidisciplinar das FIRB**, 2022.

PROENÇA, Mylena Teixeira; ALMEIDA, Átila Batista; BERTICELLI, Ritielli. Pavimento permeável: minimizando enchentes urbanas. **XXIV Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 2019. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2019/xxiv%20seminario%20interinstitucional/mostra%20de%20iniciacao%20cientificas/ciencias%20exatas,%20agrarias%20e%20engenharias/resumo%0expandido/pavimento%20permeavel%20minimizando%20enchentes%20urbanas%20-209151.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SILVA, Vanessa Cristine. O design como potencializador para alcançar a inovação no reaproveitamento de resíduos industriais: tecnologia para agregar valor na produção de pisos intertravados. **Blucher Design Proceedings**, Belo Horizonte, p. 01-02, dez. 2016. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/o-design-como-potencializador-para-alcanar-a-inovao-no-reaproveitamento-de-resduos-industriais-tecnologia-para-agregar-valor-na-produo-de-pisos-intertravados-24626>. Acesso em: 19 out. 2022.

SILVA, Betolvem Cristhian Lucio da; GACHET, Luisa Andreia; LINTZ, Rosa Cristina Cecche. Análise microscópica de concreto pigmentado com resíduos de borracha aplicado em piso intertravado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, abr. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/WQxtpwhrrhKQdk4hGRFryhw/?lang=pt>. Acesso em: 19 out. 2022.

SILVA, Fabiana Maria da; VAZ, Viviane Visnardi; BARBOSA, Luisa Andreia Gachet; LINTZ, Rosa Cristina Cecche. Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS). **Revista Matéria**, v.22, n.1, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/13684>. Acesso em: 19 out. 2022.

SÃO THIAGO, Pedro Fernandes; BICALHO, Luiz de Araújo. Estudo da utilização de agregados de pneus inservíveis em concreto para aplicação em pisos intertravados. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 36, p. 15-27, abr. 2018. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/1400>. Acesso em: 19 out. 2022.

Tenreiro, R. J. C. **Pavimentos Betuminosos Permeáveis Resistência à Deformação Permanente da Camada Superficial**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2016.