



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CONCRETO
INCORPORADO COM BORRACHA DE PNEUS PÓS-CONSUMO**

FLÁVIO RÉGIS FERREIRA MOREIRA

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Campina Grande-PB, 18/12/2017

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CONCRETO
INCORPORADO COM BORRACHA DE PNEUS PÓS-CONSUMO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 18/12/2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

FLÁVIO RÉGIS FERREIRA MOREIRA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Campina Grande como requisito para
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

DEZEMBRO/2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

FLÁVIO RÉGIS FERREIRA MOREIRA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CONCRETO INCORPORADO COM BORRACHA DE PNEUS PÓS-CONSUMO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 18/12/2017
perante a seguinte Comissão Julgadora:

Prof^a. PhD. Ana Maria G. Duarte Mendonça
Orientador
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. José Bezerra da Silva
Examinador Interno
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Prof^a. Msc. Loredanna Melyssa Costa de Souza
Examinador Externo
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Estadual da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conceder graça, misericórdia e perdão através de seu filho Jesus Cristo. A Ele toda honra e glória.

Aos meus familiares, em especial, meus pais, que sempre me estimularam no crescimento estudantil e amadurecimento ao longo desses anos na universidade.

A meu professor orientador, Dr Walter Santa Cruz pela disponibilidade e atenção.

Agradeço a Universidade Federal de Campina Grande e a todos os professores que contribuíram com a arte de ensinar engenharia, e também àqueles que foram essenciais para criação e o aprimoramento de laboratórios do qual, sem eles, seria inviável a presente pesquisa.

A minha namorada e futura esposa Cristal, por todo amor, carinho, ânimo e incentivo. Deus me tem abençoado com a vida dela.

Agradeço também a Edivaldo, o laboratorista que sempre me recebeu com alegria e disposição a ajudar com sua experiência no laboratório

A todos meus amigos que sempre me apoiaram e fizeram parte de minha formação, meu muito obrigado.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Antônio Alves Moreira e Rita Ferreira Moreira,
que mesmo distante, sempre se esforçaram
para me dar uma educação de qualidade.

*O coração do homem planeja o seu caminho,
mas o Senhor lhe dirige os passos.*

Provérbios 16.1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Prédio E-Tower vila Olímpia.....	19
Figura 2: Composição do pneu.....	23
Figura 3: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	27
Figura 4: Resistência a compressão simples do concreto produzido com 10% e 25% de borracha de pneus triturada.....	30
Figura 5: Resistência a tração por compressão diametral do concreto produzido com 10% e 25% de borracha de pneus triturada.....	31
Figura 6: Absorção de água por imersão do concreto produzido com 10% e 25% de borracha de pneus triturada.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistência dos corpos de prova de referência.....	38
Tabela 2: Resistência dos corpos de prova com 10% de adição de resíduo de pneu.....	39
Tabela 3: Resistência dos corpos de prova com 25% de adição de resíduos de pneu.....	40
Tabela 4: Absorção do concreto de referência a 7 dias.....	41
Tabela 5: Absorção do concreto de referência a 14 dias.....	41
Tabela 6: Absorção do concreto de referência a 21 dias.....	41
Tabela 7: Absorção do concreto com 10% de resíduo de pneus a 7 dias.....	41
Tabela 8: Absorção do concreto com 10% de resíduo de pneus a 14 dias.....	42
Tabela 9: Absorção do concreto com 10% de resíduo de pneus a 21 dias.....	42
Tabela 10: Absorção do concreto com 25% de resíduo de pneus a 7 dias.....	43
Tabela 11: Absorção do concreto com 25% de resíduo de pneus a 14 dias.....	43
Tabela 12: Absorção do concreto com 25% de resíduo de pneus a 21 dias.....	43

RESUMO

A construção civil é o setor com maior potencial para aproveitamento de vários tipos de resíduos industriais. A intenção é explorar as várias possibilidades que já existem, realizando, assim, uma interação e/ou integração entre segmentos e cadeias produtivos, no sentido de aproveitamento e reuso desses materiais. Na Paraíba, como em vários outros Estados da Federação, a disposição de borracha de pneu vem sendo realizada de forma desordenada, causando danos ambientais que necessitam ser mitigados ou eliminados, quer seja pela racionalização dos métodos de produção e armazenamento, quer seja apresentação de soluções, ou do aproveitamento como matéria-prima alternativa para construção civil. Este trabalho tem como objetivo determinar as propriedades físicas e mecânicas do concreto simples incorporado com resíduos de borracha de pneu. Foram realizados ensaios de caracterização química e física do resíduo e caracterização física dos agregados convencionais e do cimento, sequencialmente foi realizado o estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova nas dimensões de 10 cm x 20 cm com substituição parcial do agregado miúdo por teores de 10% e 25% de resíduo de borracha de pneu. Por fim, será realizada a caracterização física e mecânica do concreto incorporado com o resíduo de borracha de pneu nas idades de cura de 7,14, 21 dias. Observou-se que a incorporação do resíduo de borracha de pneus provocou a redução da resistência a compressão simples do concreto nos percentuais de 80% e 89,6% respectivamente para os percentuais de 10% e 25% de substituição. Portanto, o uso de resíduos de borracha de pneus proporciona modificações nas propriedades do concreto, no entanto este estudo indica que é possível obter resultados que satisfazem aos parâmetros normativos.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades; material alternativo; construção civil.

ABSTRACT

Civil construction is the sector with the greatest potential for the use of various types of industrial waste. The intention is to explore the various possibilities that already exist, thus realizing an interaction and / or integration between segments and productive chains, in the sense of utilization and reuse of these materials. In Paraíba, as in several other states of the Federation, tire rubber disposal has been carried out in a disorderly manner, causing environmental damage that needs to be mitigated or eliminated, either by rationalizing production and storage methods or by presenting solutions, or of the use as alternative raw material for civil construction. This work aims to determine the physical and mechanical properties of simple concrete incorporated with rubber tire residues. The chemical and physical characterization of the residues and the physical characterization of the conventional aggregates and the cement were carried out sequentially. The dosage and molding of the specimens in the dimensions of 10 cm x 20 cm with partial replacement of the aggregate were performed. 10% and 25% rubber tire residue. Finally, the physical and mechanical characterization of the concrete incorporated with the tire rubber residue at the curing ages of 7, 14, 21 days will be performed. It was observed that the incorporation of rubber tire residue caused the reduction of the concrete's compressive strength in the percentages of 80% and 89.6%, respectively, to the percentages of 10% and 25% of substitution. Therefore, the use of rubber tire waste provides modifications in the concrete properties, however this study indicates that it is possible to obtain results that satisfy the normative parameters.

Key words: Properties; Alternative material; construction.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 HIPÓTESES DA PESQUISA.....	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC...	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Características do pneu de borracha e sua produção.....	23
2.2 Resíduos de borracha de pneus como material alternativo	27
3. MATERIAIS E METODOLOGIA.....	30
3.1 Materiais.....	30
3.2 Metodologia	31
3.2.1 Seleção dos materiais.....	31
3.2.2 Caracterização do resíduo de borracha de Pneus.....	31
3.2.3 Estudo da dosagem dos materiais e moldagem dos corpos de prova	32
3.2.4 Determinação das propriedades físicas e mecânica do concreto simples incorporado com resíduo de borracha pneus pós-consumo	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	Erro! Indicador não definido.
6. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	38
REFERÊNCIAS.....	39
ANEXOS	43

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico a construção civil obteve enormes ganhos, crescendo em ritmo acelerado nos últimos anos. Sempre existiram vários métodos construtivos desde os tempos primitivos, porém a diversificação dos materiais utilizados nesse processo não eram tão amplos. A construção civil e o desenvolvimento econômico estão intrinsecamente ligados e a indústria da construção promove incrementos capazes de elevar o crescimento econômico. Isso ocorre principalmente pela proporção do valor adicionado total das atividades, como também pelo efeito multiplicador de renda e sua interdependência estrutural (TEIXEIRA, 2010). Logo, a construção civil é um dos principais medidores de desenvolvimento e crescimento de um país, capaz de gerar milhares de empregos e aquecer a economia. Contudo, materiais de construção alternativos são indispensáveis para fazer crescer ainda mais o setor da construção civil, reaproveitando materiais, antes inservíveis, para minimizar custos e se desenvolver agredindo menos as fontes naturais.

Toda economia em expansão requer crescimento em obras civis, levando, conseqüentemente, a uma maior demanda por matérias que atendam às necessidades. Com isso, recursos minerais são explorados invasivamente, acarretando perdas irreparáveis para os sistemas em exploração. A necessidade de se adequar outras alternativas para elaboração dos materiais construtivos produziu vários estudos com diferentes materiais nos últimos anos. Os materiais inutilizáveis por diferentes tipos de indústrias se tornaram uma boa fonte para a produção desses estudos, e sua agregação aos materiais do setor da construção civil impactaram positivamente ao próprio setor, como também ao meio ambiente, haja vista que boa parte desses materiais são despejados irregularmente em leitos de rios, lixões, florestas, etc., gerando enormes prejuízos ao meio ambiente, acarretando doenças e enormes prejuízos a fauna local.

A corrente preocupação ambiental por parte dos governos, setor privado e população, tem levado à constante procura por práticas menos agressivas ao meio ambiente. Segundo pesquisa da revista Business Week, realizada em 2006, constata-se que as próximas gerações aumentarão a demanda por itens ligados a sustentabilidade, sendo que dos entrevistados, 89% afirmaram que

escolhem marcas associadas a esse conceito (FEBRABAN, 2010). Entretanto, cabe ressaltar, que ainda há muita resistência com uso de materiais construtivos sustentáveis. O material alternativo sofre com o preconceito da sociedade, que ignora suas propriedades, e ainda generaliza que mercadorias artesanais e naturais não possuem valor agregado no quesito de durabilidade, modernidade e qualidade, em contra ponto aos produtos industrializados que agregam a si valores de progresso e status econômico.

O concreto foi um dos componentes construtivos que mais foram beneficiados com a disponibilidade de usar materiais alternativos como integrantes do seu produto final. Os diversos tipos de aditivos somaram às propriedades do concreto confiabilidade e melhoramento de suas características físicas e mecânicas como ganho de resistência, trabalhabilidade, tempo de cura reduzido, cores, etc. Essas adições trazem diversos benefícios que aumentam a durabilidade e resistência do concreto no estado endurecido, como: redução na porosidade capilar, diminuição das fissuras de origem térmica, melhoria na resistência a ataque por sulfatos, melhoria na resistência a reação álcali-sílica, entre outros (DAL MOLIN, 2005).

Em detrimento dos malefícios com o excesso despejado na natureza e o beneficiamento das características adquirida e/ou melhorada, a borracha de pneu se tornou uma alternativa de fácil acesso, e que não é necessário muitas adaptações para sua aplicação junto ao concreto, fornecendo melhoras no comportamento físico e mecânico do mesmo.

Contudo, para viabilizar o uso de resíduos na construção civil, faz-se necessário que o mesmo se apresente de maneira constante e em quantidade considerável, o que já vem ocorrendo no Brasil. A indústria de borracha de pneu, cuja produção vem apresentando crescimento anual é responsável pela geração de uma enorme quantidade de resíduos (SILVA, 2003).

1.1 JUSTIFICATIVA

A necessidade crescente de estudos e análises do passivo ambiental, para reprocessamento, reuso e adequação, sobretudo dos resíduos provenientes da indústria, é de vital importância para o futuro da humanidade,

principalmente quando se projeta uma crise ambiental mundial, devido ao crescimento populacional e, conseqüentemente, ao consumo e geração de resíduos, sobretudo, industriais.

A demanda por agregado miúdo, areia, vem crescendo à medida que a construção civil cresce no Brasil, e esse setor é um dos principais responsáveis pela extração acelerada das reservas naturais. A escassez provocada pela retirada excessiva da areia nas reservas naturais é superior à sua recomposição natural, o que acarretará em quantidades cada vez menores dessa fonte na natureza e, conseqüentemente, seu encarecimento será certo. A falta de planejamento e redistribuição é outro problema recorrente na extração da areia no Brasil.

Por outro lado sabe-se que o desenvolvimento da construção civil traz consigo danos consideráveis a natureza devido à exploração de recursos minerais. Novos desafios, relacionado à escassez de materiais e métodos invasivos de exploração, surgem à medida que a demanda por matéria-prima aumenta. No entanto, existem setores de produção que descartam seus produtos inservíveis irregularmente ou estocam resíduos sem nenhum reaproveitamento, como é o caso da borracha de pneus inutilizáveis que, ao ser lançada criminalmente na natureza leva cerca de 600 anos para se decompor.

Neste sentido, busca-se a reutilização da borracha de pneu, triturada, substituindo parte do agregado miúdo, ob benefícios econômicos, objetivando oferecer ganhos ambientais e sociais para o país, uma vez que a quantidade de areia extraída será menor e o reaproveitamento da borracha de pneus reduzirá o volume a ser descartado no meio ambiente.

1.2 HIPÓTESES DA PESQUISA

Partiu-se da seguinte hipótese: *“O resíduo de borracha oriundo da produção de pneus pode ser utilizado como agente modificador das propriedades físicas, mecânicas de concretos utilizados na construção civil”*. Como consequência da aceitação desta hipótese, tem-se uma alternativa para

diminuir a disposição desse resíduo sobre o meio ambiente e o desenvolvimento de um processo (procedimentos e técnicas) para o seu aproveitamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetiva avaliar as propriedades físicas e mecânicas do concreto simples incorporado com borracha de pneu.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a absorção do concreto incorporado com borracha de pneu;
- Avaliar a resistência a tração e a compressão do concreto incorporado com borracha de pneu;

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

O texto deste Projeto de Pesquisa Aplicada encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

[Capítulo 1] Introdução – Introdução, Justificativa, Hipótese da pesquisa, Objetivos da Pesquisa e Organização do Trabalho de Conclusão de Curso - TCC.

[Capítulo 2] Fundamentação Teórica – são abordados assuntos relacionados ao concreto, propriedades, usos e sobre a utilização de borracha de pneu em concreto.

[Capítulo 3] Materiais e Métodos – são apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental.

[Capítulo 4] Resultados e Discussões.

[Capítulo 5] Cronograma da Pesquisa.

Por fim, estão as Referências, onde serão listadas as pesquisas citadas no trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O concreto é um dos componentes mais solicitados em obras de engenharia por atender bem as demandas de resistência e adaptabilidade das obras. Estima-se que anualmente são produzidos 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. Projeções otimistas estimam que em 2025 o concreto será o material mais consumido no mundo (FIHP – FEDERACIÓN IBEROAMERICANA DE HORMIGÓN PREMESCLADO, 2009).

Um exemplo marcante é a cobertura do Panteão de Roma, que após ter sido destruída por um incêndio, o imperador Adriano, em 125 d.C., decidiu utilizar concreto com pedra-pomes na reconstrução da cúpula desse monumento com 44 metros de diâmetro, visando melhorar seu desempenho estrutural (ROSSIGNOLO, 2009).

Segundo Isaia (2005), os materiais cimentícios, de modo geral, são considerados os mais importantes de todas as épocas da civilização, pois foram a matéria-prima mais importante para suprir as necessidades de obras de infraestrutura e de edificações, entre as quais se destacam as necessidades de segurança (habitações), de higiene (obras sanitárias), de transporte (rodovias), de ensino e saúde (escolas e hospitais) e de religião (templos); e a partir do século XX, os avanços da tecnologia e da ciência e as transformações socioeconômicas impuseram novos horizontes para o bem mais escasso do homem: o tempo. Deste modo, o bem-estar pessoal e social passou a ficar atrelado à solução das necessidades imediatas e utilitaristas, transformando o tempo num bem de consumo.

De acordo com John (2009), atualmente se estima que a indústria da construção civil, seja responsável por 20 a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos do planeta. Contudo, pesquisas apontam que a utilização de diferentes resíduos como matéria prima na construção civil pode vir a reduzir a

quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente. As obras de engenharia civil, por utilizarem grandes quantidades de materiais com alto peso específico e baixo valor agregado, desenvolvem importante papel na utilização de diversos resíduos. Esta possibilidade tem motivado o desenvolvimento de tecnologias capazes de reutilizar materiais alternativos em obras.

Uma das atividades que mais impactam o meio ambiente, sem dúvida, é a construção civil. Segundo Silva e Fernandes (2012), a construção civil consome cerca de 50% de todos os recursos naturais além de gerar volume elevado de resíduos; cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente nas cidades tem origem no setor da construção civil. Com isso, os agregados naturais e areias começam a ficar escassos principalmente em grandes centros aumentando as despesas com transporte e os impactos ambientais daí resultantes. No combate aos problemas supracitados, a reciclagem é uma das propostas que mais ganham estímulo. Hoje, no mercado, já existem vários produtos que são produzidos com materiais reciclados, tais como: papel, embalagens de alumínio, subprodutos do aço entre outros.

Desde tempos arcaicos o homem já manipulava o concreto de diferentes formas, e com o passar dos anos o concreto sofreu inúmeras alterações até se tornar um dos elementos mais imprescindíveis nas pequenas e grandes obras. Para atender esforços internos e externos cada vez maiores, a resistência do concreto foi uma de suas propriedades que mais evoluíram no decorrer dos anos. A Figura 1 ilustra o prédio E-Tower, localizado na cidade de São Paulo, Brasil, que apresentou, em alguns dos seus pilares, um f_{ck} de 125,0 MPa.

Figura 1: Prédio E-Tower vila Olímpia



Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials) o concreto é um material compósito que consiste de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas: O aglomerante é o cimento em presença de água; o aglomerado é qualquer material granular, como areia, pedregulho, seixos, rochas britadas, escória de alto-forno e resíduos de construção e demolição; se as partículas de agregados são maiores do que 4,75mm, o agregado é dito graúdo, caso contrário, o agregado é miúdo; os aditivos e adições são substâncias químicas adicionadas ao concreto em seu estado fresco que lhe alteram algumas propriedades, adequando-as às necessidades construtivas.

Segundo Battagin (2006) o concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento.

Segundo Helene e Terzian (2001) a dosagem trata-se de um processo abrangente e que exige amplo conhecimento das propriedades dos concretos. As condições fresca ou endurecida concreto devem ser as mesmas. De acordo com os mesmos autores, a dosagem do concreto pode ser entendida como sendo a harmonia adequada entre os materiais constituintes (agregados), atendendo a cinco principais condições:

- Exigências de projeto;
- Condições de exposição e operação;
- Tipo de agregados disponível economicamente;
- Técnicas de execução;
- Custo.

A dosagem não é nada mais é que as indicações das proporções e quantificação dos materiais componentes da mistura, a fim de obter um concreto com determinadas características previamente estabelecidas. Para obtenção de um bom concreto de acordo com sua finalidade, devem ser efetuadas com perfeição as operações básicas de produção do material. Já as propriedades funcionais do concreto endurecido de acordo com Helene e Terzian (2001), tais como resistência, durabilidade e aparência, só podem ser asseguradas se a trabalhabilidade do concreto fresco, for compatível com as condições de trabalho.

Para a fabricação de um bom concreto é necessário estudos de qualidade dos seus componentes separadamente e em conjunto. As propriedades do concreto são manipuláveis de acordo com às necessidades de projeto, as presente na fase fresca do concreto são a consistência e a trabalhabilidade. Segundo Price (2003) o concreto pode ser manipulado por diversas técnicas construtivas, porém, deve ser dada atenção especial a fim de evitar atrasos no seu lançamento, secagem e cura. A consistência está relacionada com a coesão entre os elementos da mistura e a mobilidade da massa, devendo ser uniforme o conjunto de seus constituintes. A trabalhabilidade diz respeito tanto às características do concreto como à natureza da obra e aos métodos de execução adotados, e determina a facilidade com a qual o concreto pode ser manipulado sem segregação que venha a comprometê-lo. O custo de manuseio aumentará à medida que seu manuseio e adensamento sejam dificultados. No entanto, o concreto será menos durável à medida que sua segregação aumenta, sendo assim necessária uma dosagem equilibrada para que as propriedades sejam garantidas. Portanto, a trabalhabilidade pode afetar tanto o custo quanto a

qualidade do concreto (METHA & MONTEIRO, 1994). Outra característica que está intrinsecamente ligada à trabalhabilidade inadequada do concreto é a exsudação que o deixa poroso e menos resistente devido à água de amassamento vir à superfície do concreto recém-lançado.

O peso específico do concreto está diretamente ligado ao peso dos agregados usados e sua quantidade, ou seja, quanto maior o peso específico dos agregados e quanto maior sua proporção na mistura maior será o peso específico do concreto. Segundo a NBR 9778/1987 concretos Leves situam-se normalmente, entre 1440 a 1800 kg/m³; concretos estruturais possuem massa específica da ordem de 2300 a 2800 kg/m³; concretos pesados, utilizados em blindagem contra radiações, possuem massa específica em torno de 3360 a 3840 kg/m³.

As deformações no concreto, em geral, são causadas pelas tensões induzidas associadas a efeitos ambientais como variação de temperatura e umidade, e pelas próprias cargas externas que causam deformações imediatas, fluência e deformação lenta recuperável. A elasticidade, relação entre tensão e módulo de elasticidade, está intrinsecamente relacionado às deformações. Para que todas essas variáveis desempenhem suas características corretamente, é necessário analisar a quantidade de material, em suas proporções, que irão constituir o concreto, assim como o processo de cura. Segundo Marcelli (2007), o procedimento da cura do concreto muitas vezes não é levado a sério e não recebe a devida importância e cuidados necessários, principalmente em obras de pequeno e médio porte. Há um agravamento referente a este problema quando a execução é realizada por empreiteiros com pouco conhecimento técnico e que já estão trabalhando há bastante tempo neste ramo e por isso acreditam que já aprenderam tudo o que é necessário, assim acabam não renovando e aprimorando suas técnicas, alegando que suas construções nunca sofreram danos. O que eles geralmente não sabem e não levam em conta por desconhecer esta parte mais científica, é que a cura do concreto se dá devido a uma reação química da água com o cimento.

Em relação às novas técnicas de estudo dos concretos, o estudo microestrutural vem se destacando, pois tem permitido o conhecimento

aprofundado da microestrutura da matriz de cimento e da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento e isto possibilitou o incremento de inovações que resultaram no surgimento dos concretos especiais (ROSSIGNOLO, 2009).

A resistência à compressão do concreto é uma de suas características mais importantes, haja vista que o projeto arquitetônico é elaborado em cima desses dados de resistência da estrutura. A NBR 5739 especifica todo o processo de montagem do corpo de prova e o ensaio de compressão a ser realizado. A água deve ser empregada na quantidade estritamente necessária para envolver os grãos, permitindo a hidratação e posterior cristalização do cimento. O fator a/c deve ser sempre o menor possível, dentro das características exigidas para o concreto e da qualidade dos materiais disponíveis para a sua composição. O excesso de água na mistura migra para a superfície pelo processo de exsudação, deixando vazios chamados de porosidade capilar. Esta porosidade prejudica a resistência do concreto, aumentando sua permeabilidade e diminuindo a durabilidade da peça.

De acordo com Marques (2005), a determinação da resistência à compressão simples no concreto é efetuada de acordo com a ABNT NBR 5739. Os corpos-de-prova, após o período de cura, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 5738, são encaminhados ao ensaio de resistência à compressão, e são rompidos em uma prensa universal para ensaios, seguindo as especificações de norma e dimensões da amostra. Estes ensaios podem ser realizados após a data de moldagem com idades de 3, 7, 28 e/ou superior.

A resistência à tração é a propriedade que um material possui de suportar cargas de tensionamento. O concreto simples detém uma capacidade de suportar esforço de tração bem inferior ao concreto armado pela falta de armadura na parte em que é tracionado. Existem vários ensaios para a determinação da resistência à tração, os mais utilizados são:

- Resistência por ensaio à tração direta
- Resistência à tração por ensaios à flexão
- Resistência à tração por ensaios à compressão diametral

A resistência à tração direta (fct) também pode ser determinada por meio das resistências à tração indireta por compressão diametral e por flexão, que podem ser obtidas por ensaios realizados segundo os critérios indicados na NBR 7222:1994.

Um produto que tem se tornado um grande aliado nos estudos da tecnologia do concreto são os aditivos. Os aditivos são materiais adicionados aos ingredientes normais do concreto, durante a mistura, para obter propriedades desejáveis, tais como: aumento da plasticidade, controle do tempo de pega, controle do aumento da resistência, redução do calor de hidratação, etc. Os aditivos para concreto são em geral explorados comercialmente por fabricantes especializados, cujos catálogos contêm informações pormenorizadas sobre seu melhor emprego (PIERNAS, 2002).

Vários estudos com materiais alternativos, fáceis de serem encontrados, e até mesmo materiais que anteriormente não seriam mais utilizados, estão sendo usados na composição do concreto como meio de melhorar as propriedades físicas e mecânicas. Com o crescimento da necessidade sustentável, cada vez mais pertinente com o aumento da poluição, soluções que minimizem os efeitos poluidores na natureza estão ganhando espaço. O conjunto de alterações do micro e macro-ambiente influencia a administração das organizações, exigindo envolvimento do planejamento estratégico corporativo adaptado às novas tendências globais, para atender os consumidores que privilegiam os produtos corretos (TACHIZAWA, 2002). Diferentes pesquisas visando à preservação ambiental e a reutilização de materiais descartados pelo homem tem propiciado mudanças no cenário mundial. Além disso, diversas leis têm sido criadas e aos poucos colocadas em prática.

2.1 Características do pneu de borracha e sua produção

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), a produção de pneus de borracha no Brasil iniciou-se na década de 1930, quando foi implantado o Plano Geral de Viação Nacional. Posteriormente,

outros grandes fabricantes mundiais começaram a produzir seus pneus no Brasil.

De acordo com Andrade (2007), o pneu é composto com diversos materiais, como aço, náilon, fibra de aramida, rayon, fibra de vidro/poliéster, borracha natural e sintética, e diversos tipos de polímeros como carbono preto, sílica e resinas; antidegradantes (ceras de parafina antioxidantes e inibidoras da ação do gás ozônio); promotores de adesão (sais de cobalto, banhos metálicos nos arames e resinas); agentes de curas (aceleradores de cura, ativadores e enxofre) e produtos auxiliares.

Segundo Kamimura (2002), os pneus para veículos de passeio são constituídos de diferentes partes:

- **Carcaça:** é a estrutura interna do pneu, com função de reter o ar sob pressão e suportar o peso do veículo. A carcaça é constituída por lonas de nylon, aço ou poliéster, dispostas diagonalmente nos pneus convencionais e radialmente nos pneus radiais, formando a parte resistente do pneu.
- **Flancos:** são constituídos de um composto de borracha de alto grau de flexibilidade, dispostos lateralmente, com o objetivo de proteger a carcaça contra os agentes externos.
- **Talões:** são constituídos internamente por arames de aço de grande resistência, unidos e recobertos por borracha. Sua finalidade é manter o pneu firmemente acoplado ao aro, impedindo-o de ter movimentos independentes.
- **Banda de rodagem:** é a parte do pneu que entra diretamente em contato com o solo. Oferece grande resistência ao desgaste devido à sua composição de borracha e agentes químicos especiais. Seus 43 desenhos, criteriosamente estudados, visam proporcionar aderência, estabilidade e segurança ao veículo.

A banda de rodagem, por estar em contato direto com o solo, sofre desgaste mais rapidamente que as demais partes do pneu. Devido a este fato é permitido a sua recomposição, mantendose as outras partes para sua

reutilização. Este procedimento é chamado de recauchutagem ou recapeamento. Quando não podem mais ser reutilizados, os pneus passam então à fase final de vida. Ao chegarem nessa fase, os pneus passam a ser chamados de pneus velhos, em fim de vida ou ainda pneus inservíveis.

A Figura 2 ilustra uma seção transversal do pneu, onde se observam as partes que compõem a sua estrutura.

Figura 2: Composição do pneu



Fonte: Andrade (2007)

Diante da nova necessidade de administração da coleta e destinação final deste rejeito de borracha - o pneu inservível, o CONAMA teve a preocupação de esclarecer e classificar os pneus pelo seu estado de uso, sendo assim as Resoluções 258/99 e 301/02 faz as seguintes classificações:

- Pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem de veículos;
- Pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum – TEC;
- Pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importações, no código 4012.10 da TEC;
- Pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

De acordo com a CEMPRES (2009) atuam no Brasil sete fabricantes de pneus: as multinacionais Bridgestone Firestone, Goodyear, Pirelli e Michelin, e as nacionais Levorin, Maggion e Rinaldi. Estas empresas estão concentradas em São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Bahia. Estas empresas atuam hoje em níveis próximos as suas capacidades máximas de produção. Ainda de acordo a CEMPRES (2009) em 2003 foram fabricadas mais de 713 mil toneladas, sendo que 35% desse total foram destinados à exportação. Atualmente, 72% da produção são do tipo radial (ou seja, produtos que contêm aço) e 28% é convencional. Segundo Carvalho (2007) a maior parte dos pneus, atualmente é feita na composição de 10% de borracha natural, 30% de borracha sintética (petróleo) e 60% de aço e tecidos. Utilizam-se ainda materiais com objetivo de se obter um material mecanicamente resistente, responsável pela coloração dos pneus, tais como: argilo-minerais e negro-de-fumo (carvão).

De acordo com informações da ANIP (2009), há apenas cinco empresas destinadoras de pneus inservíveis no país, as chamadas laminadoras, empresas que fazem a coleta e destinação dos pneus velhos. Essas empresas fazem parte de um cadastro no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Em contra partida a isso, mais de 20 trabalham informalmente, reciclando pneus convencionais que são transformados em produtos como solado de sapato e percinta para sofás, entre outros. Segundo a ANIP, cerca de 70 mil toneladas de pneus foram destinadas à reciclagem em 2002.

O Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis organizado pela ANIP estimulou os fabricantes de pneus novos a formar uma entidade que arca com os custos de coleta e destinação de pneus no Brasil, a Reciclanip. Seu objetivo é intensificar parcerias com as prefeituras para a criação de novos ecopontos e incentivar a participação da iniciativa privada (sobretudo da rede de revendedores e reformadores), do poder público e da sociedade como um todo na coleta e destinação de pneus.

De acordo com Kamimura (2002), desde 1998 a indústria nacional de pneus vem apresentando crescimento na sua produção. Em 1998, foram produzidos praticamente 38 milhões de pneus, sendo que este número em

2001 alcançou aproximadamente 49 milhões de unidades. Destes 49 milhões, 62% destinaram-se as categorias pneus carro de passeio, 11,5% pneus para caminhões e ônibus, 9,5% para comerciais leves, e os demais para veículos industriais e agrícolas, tratores, motonetas e motocicletas. De acordo com Goldenstein et al. (2007), esta evolução vem se mantendo e tanto a produção quanto as vendas vêm crescendo ao longo dos últimos anos. “Em 2005 foram produzidos 48 cerca de 53 milhões de pneus, com volume de vendas internas de cerca de 38 milhões de unidades, incluídas importações diretas, e exportações da ordem de 18 milhões unidades”.

2.2 Resíduos de borracha de pneus como material alternativo

Com relação à destinação ambiental de pneus inservíveis no território brasileiro, adotou-se a Resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 26 de agosto de 1999, em vigor desde 2002. A Resolução nº 258 obriga produtores domésticos de pneus novos e importadores de pneumáticos a lhes darem uma destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 1999). E em 21 de março de 2003, a Resolução CONAMA nº 301 emendou a Resolução nº 258, para estender a obrigação de oferecer destinação ambientalmente adequada também aos pneus remoldados importados (BRASIL, 2003). Sendo assim, é preciso criar alternativas que permitam a reinserção do pneu inservível em algum ciclo produtivo, visando a minimização dos impactos ambientais e conseqüentemente diminuindo o consumo de matérias-primas. O pneu, de acordo com Carvalho (2007), é um exemplo da riqueza no lixo urbano. Facilmente encontrado em aterros sanitários, lixões, estoques a céu aberto, beiras de estradas e rios. Além de representar um desperdício, pode acarretar graves problemas.

Rodrigues e Santos (2013) concluíram que há um decréscimo na resistência à compressão do concreto com a incorporação de agregados de borracha de pneu. De acordo com Canova et al. (2007), a argamassa com resíduo de borracha de pneu apresentou menor incidência de fissuras no revestimento, apresentando, no entanto, maior teor de ar incorporado e redução no módulo de elasticidade.

Santos (2005), dentre os estudos já realizado de concreto com adição de borracha, a preocupação prioritária de acordo com o autor na grande maioria é com a resistência à compressão. De maneira geral, observa-se que a introdução de borracha ao concreto provoca diminuição da resistência à compressão. De acordo com Santos (2005) a resistência à compressão é considerada índice de qualidade, pois esta relacionada com outras propriedades: modulo de elasticidade, durabilidade, absorção de água, etc

Granzotto e Souza (2013) relataram que quanto maior a quantidade de resíduo de borracha de pneu adicionado ao concreto, menor será a massa específica aparente, ressaltando que no concreto sem resíduo se tem uma massa específica média de 2.420 kg/m^3 , enquanto no concreto com substituição de 15% em massa da areia por resíduo de borracha, a massa específica média é de 2.239 kg/m^3 . Constataram também que após a incorporação da borracha de pneu ao concreto, a resistência à compressão tendeu a diminuir, ou seja, substituindo a areia por borracha, nas proporções de 5%, 10% e 15%, os resultados apresentaram perdas na resistência à compressão de 12,6%, 39,0% e 45,8%, respectivamente.

Algumas pesquisas tem confirmado a viabilidade da utilização de resíduos de borracha de pneu nos concretos. Fioriti et al. (2010) concluíram nos resultados obtidos em blocos intertravados confeccionados com concreto com resíduos de pneus, que a utilização para uso em ambientes com solicitações leves, por exemplo, em calçadas, praças, ciclovias e condomínios residências são viáveis, apresentando resultados satisfatórios.

Fioriti et al. (2010) observaram que os resultados dos ensaios de resistência à compressão em blocos intertravados tendem a diminuir, quanto maior o teor de resíduos de pneus no concreto utilizado. No concreto sem resíduo se tem uma resistência à compressão de 26,31 MPa, enquanto no concreto produzido com substituição de 15% do volume dos agregados por resíduo de pneu é de 15,21 MPa, ou seja, uma redução de 42% da resistência à compressão. Constataram também que todos os traços tiveram absorção menor que o limite máximo de 10% prescrito na NBR 12118 (2013), que se refere aos blocos de concreto para alvenaria.

Segundo Dhir et al. (2003) o concreto adicionado de resíduo de borracha aumenta a incorporação de ar na mistura, colaborando com a resistência ao gelo-degelo. Contribuindo em muito na sua utilização em construções que ficam expostas a baixas temperaturas.

Siddique e Naik (2004) sugerem várias utilizações para o concreto com adição de resíduos de borracha de pneu. Dentre elas encontram-se: locais onde é necessário o amortecimento de vibrações, locais onde resistência ao impacto é necessária, fachadas, entre outros. E Segundo Albuquerque et al. (2006) o concreto com adição de borracha de pneu pode ser um material ideal quando submetido a efeitos de impacto e, que não necessita de alta resistência mecânica. A proposta de agregar borracha ao concreto surge também com o intuito de contribuir com o desenvolvimento de algumas das propriedades favoráveis e importantes para a construção civil, como a baixa massa unitária, alta resistência, ductilidade e resistência ao impacto.

Bennazouk et al. (2003, apud MARQUES, 2005), verificaram o comportamento do concreto com borracha em presença de água. Nesta análise foram verificadas as propriedades hidráulicas, onde foram determinadas que a presença de partículas de borracha reduz a difusividade hidráulica através da diminuição da absorção de água. Da mesma forma, a permeabilidade ao ar foi reduzida consideravelmente. Estes resultados demonstram a importância do uso da borracha para a durabilidade do concreto em ambientes agressivos. Ainda de acordo com Marques (2005), o uso do concreto com borracha na construção civil, através dos resultados obtidos, indica que o uso do material obtido como função estrutural é inviável, embora seja possível a confecção de concretos com resistência de 15MPa e 20MPa. Entretanto segundo o autor, seu uso em materiais pré-moldados como blocos de alvenaria também é interessante. De modo geral as composições adicionadas de borracha de pneu são indicadas para uso em elementos que exijam baixa resistência mecânica, menor peso e absorção de água, bom isolamento térmico e acústico além de resistência ao impacto. Dessa forma, a substituição de parte do agregado por borracha de pneu pode contribuir para a preservação dos agregados naturais e oferecer um modo alternativo de reciclagem para a borracha de pneu.

3. MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 Materiais

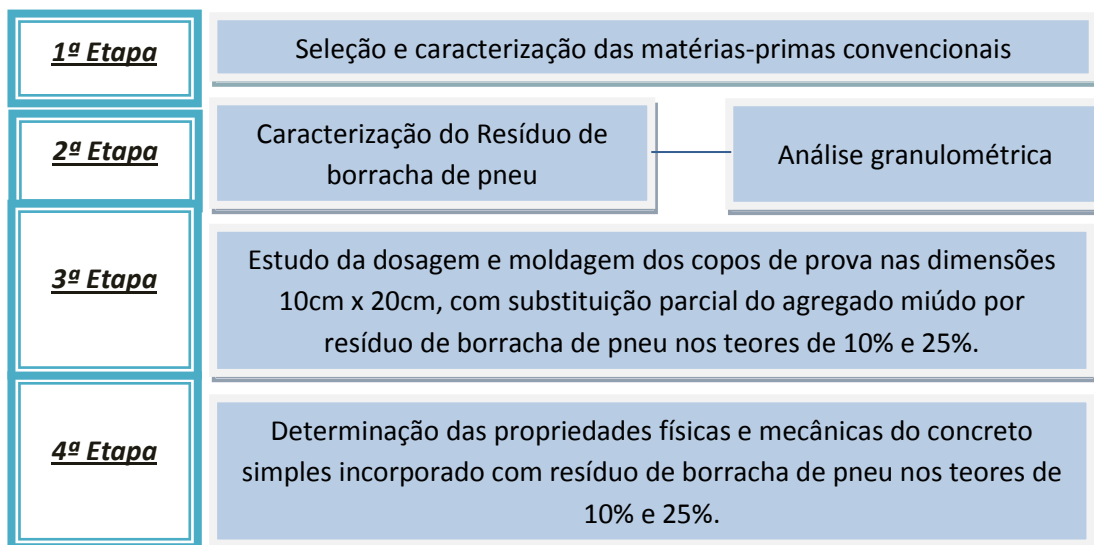
Os materiais utilizados neste projeto foram:

- Agregado graúdo: Brita de origem granítica, apresentando diâmetro máximo padronizado para brita 0, apresentando massa específica seca de $2,63\text{g/cm}^3$, massa específica na condição SSS de $2,64\text{ g/cm}^3$, massa específica aparente igual a $2,67\text{g/cm}^3$, finura de 6,19 e diâmetro máximo 6,3mm.
- Agregado miúdo: O agregado miúdo, utilizado na pesquisa, foi do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba, apresentando diâmetro máximo de 2,36mm, finura igual a 2,42%, massa específica de $2,618\text{g/cm}^3$, massa unitária solta igual a $1,429\text{g/cm}^3$, e teor de materiais pulverulentos de 0,07%.
- Cimento Portland CPlI F32: O cimento Portland foi obtido no comercio local do município de Santa Rita-PB, apresentando massa específica igual a $2,91\text{ g/cm}^3$ e finura igual 2,84%.
- Borracha de pneu: o resíduo de borracha utilizado no desenvolvimento deste projeto foi proveniente da empresa LBFlex em Campina Grande-PB.
- Água: fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

3.2 Metodologia

Para realização deste estudo foram desenvolvidas etapas sequenciais para uma melhor organização e obtenção dos resultados. A Figura 3 ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 3: Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

3.2.1 Seleção dos materiais

Nesta etapa foram selecionadas e caracterizadas as matérias-primas convencionais utilizadas para a produção do concreto simples: cimento, agregado graúdo e agregado miúdo.

3.2.2 Caracterização do resíduo de borracha de Pneus

Para caracterização física do resíduo foi realizado o seguinte ensaio:

Análise Granulométrica (AG): Neste método é combinada a relação proporcional entre a difração a laser e a concentração e o tamanho de partículas. Para realização deste ensaio a amostra do resíduo de mármore foi beneficiada em peneira ABNT nº 80(0,18mm), e dispersa em 250mL de água destilada em agitador Hamilton Beach modelo N-5000 na velocidade de 17.000rpm, por 20 minutos; em seguida, a dispersão foi colocada em um

equipamento CILAS modelo 1064, em modo úmido, até atingir a concentração ideal, que é de 150 unidades de difração/área de incidência.

3.2.3 Estudo da dosagem dos materiais e moldagem dos corpos de prova

Dosagem dos materiais

A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, a partir da caracterização do agregado graúdo, miúdo e do cimento e do estabelecimento do fator água/cimento. Na primeira etapa foi realizada a caracterização dos materiais (agregados e cimento). Na segunda etapa foi realizado o estudo da dosagem, determinando-se a proporção dos materiais, onde estabeleceu-se o seguinte traço 1: 2,3: 2,74: 0,54, com fa/c de 0,54, cuja resistência requerida foi de 26 MPa e abatimento do tronco do cone de 40 - 60 mm. A Tabela 1 apresenta o proporcionamento dos materiais utilizado para produção dos corpos de prova utilizados neste estudo.

Tabela 1: Proporção dos materiais utilizados neste estudo.

Percentual	Cimento	Ag. Graúdo	Ag. miúdo	Resíduo
0%	7,788kg	46,464kg	27,3kg	0kg
10%	7,788kg	46,464kg	20,47kg	6,82kg
25%	7,788kg	46,464kg	13,65kg	13,65kg

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Sequencialmente, na terceira etapa, determinaram-se as idades de cura que serão utilizadas para determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto, sendo utilizados 7, 14, 21. E por fim, foram determinados os teores de substituição do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu pós-consumo de 10% e 25%.

Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 10cm x 20cm com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneus nos percentuais de 10% e 25%.

Após 24 horas da moldagem, estes foram desmoldados e imersos em água para realização da cura. Para a caracterização física e mecânica os resultados obtidos resultaram da média aritmética de 6 corpos de prova.

3.2.4 Determinação das propriedades físicas e mecânica do concreto simples incorporado com resíduo de borracha pneus pós-consumo

Resistência à compressão simples do concreto

A determinação da resistência à compressão simples do concreto (f_{cc}) foi realizada de acordo com o procedimento do método de ensaio da ABNT NBR 5739/2007.

Resistência à Tração

Os conceitos relativos à resistência do concreto à tração direta, f_{ct} , são análogos aos expostos no item anterior, para a resistência à compressão. Portanto, tem-se a resistência média do concreto à tração, f_{ctm} , valor obtido da média aritmética dos resultados, e a resistência característica do concreto à tração, f_{ctk} ou simplesmente f_{tk} , valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado pelos resultados de um lote de concreto.

A diferença no estudo da tração encontra-se nos tipos de ensaio. Há três normalizados: tração direta, compressão diametral e tração na flexão. Entretanto, para o estudo com a incorporação da borracha de pneu foi realizado apenas o ensaio de compressão diametral. O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7222/2011.

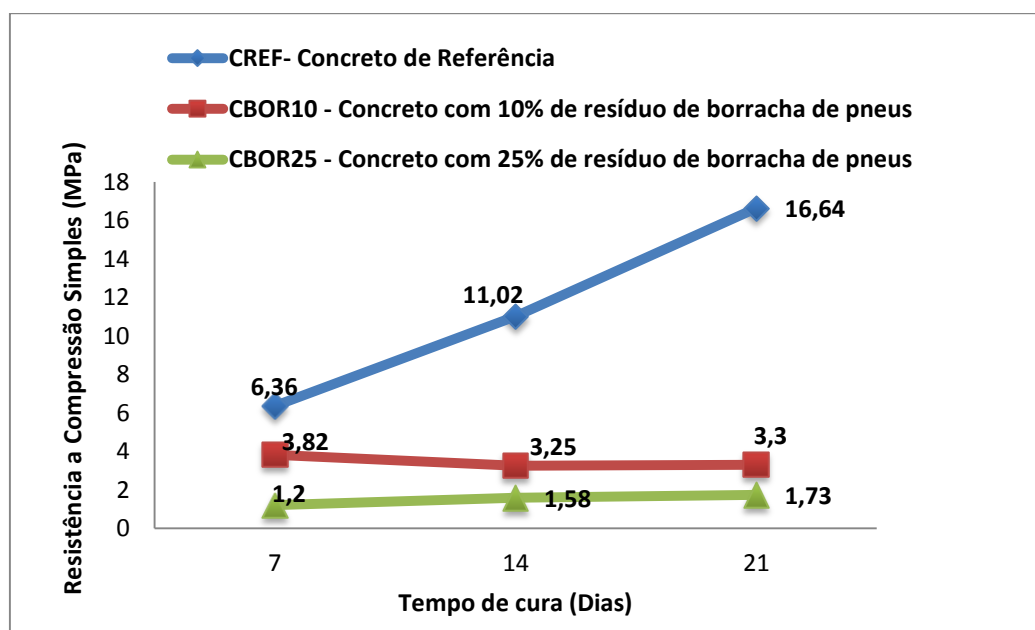
Absorção de água

Este ensaio tem como objetivo a determinação da absorção de água, através de imersão, do índice de vazios e massa específica de argamassa e concreto endurecidos, é prescrito pela norma da ABNT NBR 9778/2009.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 ilustra os resultados obtidos para o ensaio de resistência a compressão simples do concreto produzido com substituição do agregado miúdo convencional por resíduo de borracha de pneus nos teores de 10% e 25%.

Figura 4: Resistência a compressão simples do concreto produzido com 10% e 25% de borracha de pneus triturada.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

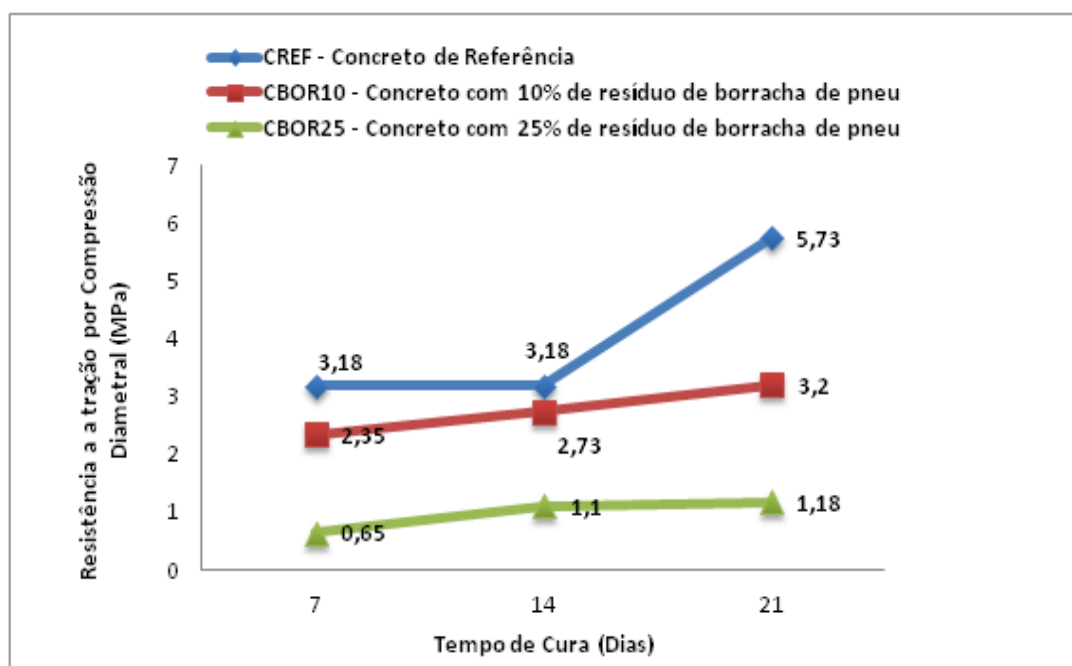
De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do agregado miúdo por resíduo de pneus pós-consumo triturado, ocasionou a redução da resistência a compressão do concreto para todas as idades em estudo, obtendo-se a 21 dias uma redução de 13%.

De acordo com Huang et al. (2004), Eiras et al. (2014), a incorporação de borracha de pneus pós-consumo em substituição ao agregado, para produção de concreto, geralmente ocasiona a redução da resistência. Huang et al. (2004) ao substituírem 15% do agregado graúdo por borracha de pneus, obtiveram um decréscimo de 45% na resistência à compressão. Eiras et al. (2014), acrescentaram, além da borracha, incorporador de ar. Com 40% de borracha em substituição ao agregado miúdo e 0,250% de incorporador de ar obtiveram uma redução de 92,2 % na resistência à compressão em relação ao concreto de referência. Entretanto, nenhum dos autores observou o comportamento do material com o aumento do consumo de cimento.

De acordo com a norma da ABNT NBR 6118/2014, aos 21 dias o concreto deve apresentar 96% da resistência requerida em projeto, portanto os resultados obtidos neste estudo, não satisfazem os parâmetros normativos.

A Figura 5 ilustra os resultados obtidos para a resistência tração por compressão diametral do concreto produzido com substituição do agregado miúdo convencional por resíduo de borracha de pneus nos teores de 10% e 25%.

Figura 5: Resistência a tração por compressão diametral do concreto produzido com 10% e 25% de borracha de pneus triturada.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Conforme resultados apresentados na Figura 5 verifica-se que houve redução da resistência a tração com a substituição do agregado graúdo convencional por borracha de pneus pós-consumo, evidenciando-se que quanto maior o teor de substituição menor será a resistência a tração do concreto.

Este fato justifica-se porque a resistência intrínseca do agregado graúdo convencional brita granítica e superior ao obtida para a borracha de pneus pós-consumo, conseqüentemente o concreto com incorporação deste material também apresentará resistência mecânica inferior.

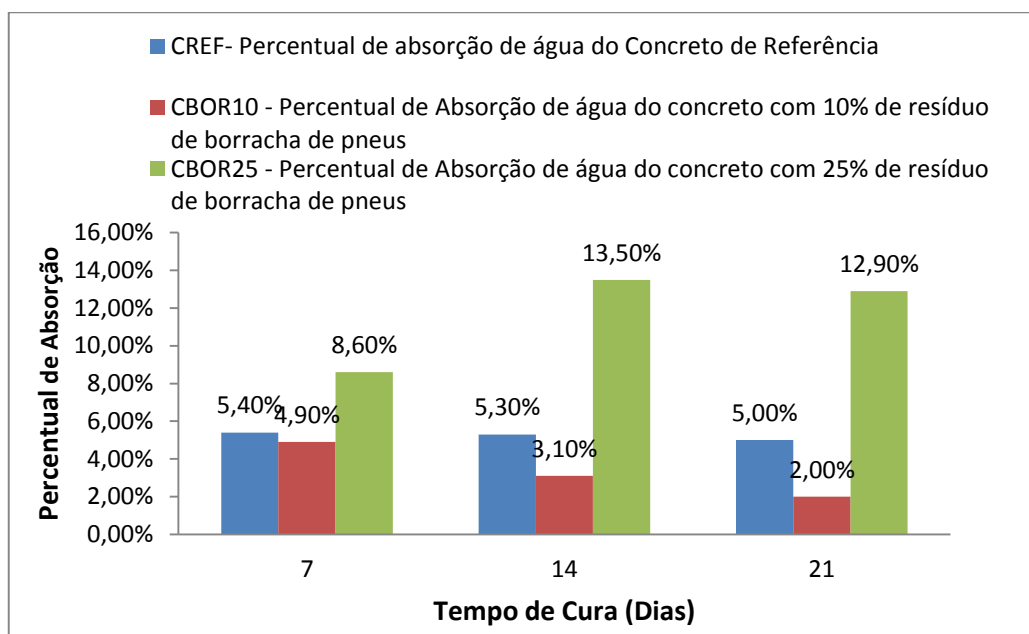
Moreira et al,(2014), realizou estudos sobre concreto com borracha de pneus aplicado em ciclovia, utilizando teores de incorporação da borracha de 12,5% 25% e 50%, e verificou que o aumento do teor de incorporação da borracha de pneus ocasionou a redução da resistência do concreto, obtendo-se aos 28 dias uma redução de 77% para o concreto com 50% de borracha em relação ao concreto com 12,5%.

De acordo com Lacerda (2001), a utilização de 80 kg de borracha por metro cúbico de concreto, indica o reaproveitamento de 64,7% da borracha do pneu ao término de sua vida útil, e ainda o peso médio de um pneu de carro de passeio (de 7,9 kg), chegando ao consumo de aproximadamente 3000 pneus de carros de passeio na execução de uma ciclovia.

Deste modo o concreto obtido neste estudo não tem finalidades estruturais, no entanto, pode ser utilizado em calçadas, ciclovias e em locais onde tenha apenas fluxo de pedestres e que não necessitem de uma resistência a compressão muito alta, e, devido a adição da borracha, o impacto gerado ao caminhar sobre o concreto seja inferior ao verificado para o concreto convencional.

A Figura 6 ilustra os resultados obtidos para a absorção de água por imersão do concreto produzido com substituição do agregado miúdo convencional por resíduo de borracha de pneus no teor de 10%.

Figura 6: Absorção de água por imersão do concreto produzido com 10% e 25% de borracha de pneus triturada.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se a ocorrência de elevação da absorção com o aumento do teor de substituição do agregado graúdo convencional por borracha de pneus pós-consumo, este fato deve-se a borracha possuir uma maior absorção de água, bem como a mesma apresentar elasticidade impedindo um perfeito empacotamento dos grãos do agregado.

Conforme resultados obtidos, verifica-se um aumento de absorção de 25% de substituição do agregado convencional por resíduo de borracha de pneus pós-consumo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi comprovado, pela redução da massa específica do concreto, que quanto maior o teor de resíduo de borracha incorporado ao concreto, menor será sua massa específica e, conseqüentemente, proporcionará uma redução do peso próprio do concreto. Analisaram-se os valores de resistência característica à compressão dos blocos de concreto e constatou-se uma diminuição significativa de resistência quando incorporou o resíduo de borracha ao concreto. O bloco confeccionado com concreto sem resíduo apresentou

uma resistência a compressão de 16,64MPa, enquanto no bloco confeccionado com concreto com substituição de 10% de agregado por resíduo de borracha de pneus foi de 3,3MPa, ilustrando uma percentual de perda de 81% na resistência característica do bloco de concreto. Já o bloco com concreto com substituição de 25% de agregado miúdo por resíduo de borracha foi de 1,73MPa, ilustrando um percentual de perda de 89% na resistência característica do bloco de concreto.

No entanto, todos os traços produzidos e utilizados na confecção dos blocos de concreto apresentaram resistências características à compressão e à tração que atendem as especificações da norma ABNT NBR 6118/2014.

Nos ensaios de absorção de água dos blocos, constatou-se que os valores obtidos no traço sem resíduo de borracha e nos traços com resíduo, não apresentam diferenças significativas e os valores obtidos em todos os traços atendem as especificações da ABNT NBR 6118/2014.

Por fim, conclui-se que os resultados e as análises realizadas apresentam em alguns casos interferência significativa quando incorporamos o resíduo de borracha de pneu ao concreto, porém todos os traços produzidos para a confecção dos blocos de concreto atenderam as especificações descritas na ABNT NBR 6118/2014. Vale destacar que apesar do comportamento e dos resultados satisfatórios apresentados pelos blocos de concreto, outros estudos devem ser realizados com o intuito de confirmar a viabilidade da utilização do mesmo.

6. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Avaliar as propriedades mecânicas do concreto incorporado com borracha de pneus pós-consumo com teores diferentes dos avaliados neste estudo;
- Avaliar a durabilidade do concreto incorporado com borracha de pneus pós-consumo;
- Avaliar a deformabilidade do concreto incorporado com borracha de pneus pós-consumo;

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778** - Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica, 1987.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, 1993.

_____. **NBR 7222**: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos, 1993.

ALBUQUERQUE, A. C.; ANDRADE, W. P.; HASPARYK, N. P.; ANDRADE, M.A.S.; BITENCOURT, R.M. **Adição de Borracha de Pneu ao Concreto Convencional e Compactado com Rolo**. In: ANAIS DO ENTAC.2006.

ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis**: alternativas possíveis de reutilização. 2007. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BATTAGIN, A. F. **Uma breve história do cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2004.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 258/99

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; DE ANGELIS NETO, G. A utilização de resíduos de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 141-149, 2007.

CARVALHO, J.D.V, **Dossiê Técnico: Fabricação e reciclagem de pneus**, Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília- CDT/UNB, Brasília, 2007.

CINCOTTO. **A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação de desempenho**. II ENCONTRO TEMÁTICO MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO AMBIENTAL. 1998.

DAL MOLIN, D.C.C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379.

DHIR, R., PAINE, K. e MORONEY, R. **Recycling of used tyres in concrete**. Concrete, London, v.37, No.9, p.47-48, 2003.

EIRAS, J. N., SEGOVIA, F., BORRACHERO, M.V., et al. **"Physical and Mechanical Properties of Foamed Portland Cement Composite Containing Crumb Rubber From Worn Tires"**, Material and Design, v.59, pp. 550-570, 2014.

FIORITI, C. F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria**. 2002. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

GOLDENSTEIN, M; ALVES, M.F.; BARRIOS, M.T. **Panorama da Indústria de Pneus No Brasil: Ciclo de Investimento, Novos Competidores e a Questão do Descarte de Pneus Inservíveis**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.25, p. 107-130, mar.2007.

ISAIA, G. C. **O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 01 - 43.

GRANZOTTO, L. **Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

HUANG, B., LI, G., PANG, S., et al. **"Investigation into waste tire rubber-filled concrete"**, Journal of Material In Civil Engineering, v.16, n.3, pp.187-194, 2004.

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Dissertação de mestrado (Vinculada ao programa de pósgraduação em engenharia civil da UFSC). Florianópolis/SC, 127p, 2002.

LACERDA, L. P. de. **Pneus descartados no Brasil – Subsídios para uma reflexão na Bahia.** 2001. 59 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria – Ênfase em Produção Limpa), Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

MARQUES, M. L.; MARQUES, A. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. **Avaliação do Comportamento da Argamassa Adicionada de Diferentes Granulometrias de Borracha após Tratamento Superficial.** In: 47º Congresso Brasileiro de Concreto, Recife/PE, 2005.

MARTINS, I. R. F.; AKASAKI, J. L. **Avaliação da Adição de Fibras de Borracha de Pneus no Comportamento do CAD.** In: 47º Congresso Brasileiro de Concreto, Recife/PE, 2005.

MOREIRA, J. F. **Concreto com borracha de pneus aplicados em ciclovias.** 2014. Universidade Federal de Uberlândia.

SILVA, V. A; FERNANDES, A, L. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 333-344, 2012.

PIERNAS, R. **Controle tecnológico básico do concreto.** São Paulo. Unesp. Artigo. 2002

PREZOITO. **CONCRETO LEVE USANDO RESÍDUOS DE E.V.A. DA INDÚSTRIA CALÇADISTA.** I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. 1990

PRICE, B. **Advanced Concrete Technology.** Cap 3. Processes. Edited by NEWMAN, J and CHOO B. S. Amsterdam: Boston: Elsevier Butterworth Heinemann, 2003.

ROSSIGNOLO, J. A.; OLIVEIRA, I. L. Efeito do metacaulim nas propriedades do concreto leve estrutural. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 55-60, 2007.

TACHIZAWA. **Resíduos sólidos do setor coureiro-calçadista e os fundamentos para a Produção mais Limpa.** Artigo. 2002.

PEDROSO, L. F. **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**. Revista Concreto. ASTM (American Society for Testing and Materials). Ibracon. 2009.

ROSSIGNOLO, J. A.; OLIVEIRA, I. L. Efeito do metacaulim nas propriedades do concreto leve estrutural. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 55-60, 2007.

SANTOS, A.C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. Maceió, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, 2005.

SIDDIQUE, R.; NAIK, T. R. **Properties of concrete containing scrap-tire Rubber – an overview**. Waste Management, 2004.

ANEXOS

Tabela 1: Resistência dos corpos de prova de referência

Corpo de prova N°	Data de moldagem	Peça Concretada (Concreto de referência)	Idade (Dias)	Resistência (MPa)
01	08/11/2017	Tração	7	3,18
02	08/11/2017	Tração	7	3,18
03	08/11/2017	Compressão	7	6,36
04	08/11/2017	Compressão	7	6,36
05	08/11/2017	Tração	14	3,18
06	08/11/2017	Tração	14	3,18
07	08/11/2017	Compressão	14	6,36
08	08/11/2017	Compressão	14	6,36
09	08/11/2017	Tração	21	5,73
10	08/11/2017	Tração	21	5,73
11	08/11/2017	Compressão	21	5,73
12	08/11/2017	Compressão	21	9,55

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabela 2: Resistência dos corpos de prova com 10% de adição de resíduo de pneu

Corpo de prova N°	Data de moldagem	Peça		Resistência (MPa)
		Concretada (Concreto de referência)	Idade (Dias)	
01	29/11/2017	Tração	7	2,03
02	29/11/2017	Tração	7	2,67
03	29/11/2017	Compressão	7	3,82
04	29/11/2017	Compressão	7	3,82
05	29/11/2017	Tração	14	2,54
06	29/11/2017	Tração	14	2,92
07	29/11/2017	Compressão	14	3,18
08	29/11/2017	Compressão	14	3,31
09	29/11/2017	Tração	21	3,35
10	29/11/2017	Tração	21	3,20
11	29/11/2017	Compressão	21	4,5
12	29/11/2017	Compressão	21	4,45

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabela 3: Resistência dos corpos de prova com 25% de adição de resíduos de pneu

Corpo de prova N°	Data de moldagem	Peça		Resistência (MPa)
		Concretada (Concreto de referência)	Idade (Dias)	
01	21/11/2017	Tração	7	0,64
02	21/11/2017	Tração	7	0,66

03	21/11/2017	Compressão	7	1,14
04	21/11/2017	Compressão	7	1,27
05	21/11/2017	Tração	14	1,07
06	21/11/2017	Tração	14	1,14
07	21/11/2017	Compressão	14	1,52
08	21/11/2017	Compressão	14	1,65
09	21/11/2017	Tração	21	1,01
10	21/11/2017	Tração	21	0,99
11	21/11/2017	Compressão	21	1,14
12	21/11/2017	Compressão	21	1,22

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabelas de absorção

Para o concreto de referência, têm-se os seguintes valores do ensaio de absorção:

Tabela 4: Absorção do concreto de referência a 7 dias

Concreto de Referência – 7 dias		
Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
1245,8	1175,0	5,6
1184,12	1116,6	5,7

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabela 5: Absorção do concreto de referência a 14 dias

Concreto de Referência – 14 dias		
---	--	--

Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
1813,4	1714,2	5,4
1336,6	1266,0	5,2

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabela 6: Absorção do concreto de referência a 21 dias

Concreto de Referência – 21 dias		
Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
947,0	901,6	4,7
665,3	629,0	5,4

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Para o concreto com adição de 10% de adição de borracha de pneu, tem-se os seguintes valores:

Tabela 7: Absorção do concreto com 10% de resíduo de pneus a 7 dias

Concreto com adição de 10% de resíduo de pneu – 07 dias		
Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
1236,4	1162,4	5,9
835,4	807,6	3,3

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabela 8: Absorção do concreto com 10% de resíduo de pneus a 14 dias

Concreto com adição de 10% de resíduo de pneu – 14 dias

Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
1500,5	1465,2	2,3
627,2	598,7	4,5

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabela 9: Absorção do concreto com 10% de resíduo de pneus a 21

Concreto com adição de 10% de resíduo de pneu – 21 dias

Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
710,2	689,2	5,3
801,2	792,3	6,6

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Para o concreto com adição de 25% de adição de borracha de pneu, tem-se os seguintes valores:

Tabela 10: Absorção do concreto com 25% de resíduo de pneus a 7 dias

Concreto com adição de 25% de resíduo de pneu – 07 dias

Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
768,9	691,0	10,1
719,0	668,9	7,0

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabela 11: Absorção do concreto com 25% de resíduo de pneus a 14 dias

Concreto com adição de 25% de resíduo de pneu – 14 dias

Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
100,8	84,5	16,1
668,7	592,0	11,4

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Tabela 12: Absorção do concreto com 10% de resíduo de pneus a 21 dias

Concreto com adição de 25% de resíduo de pneu – 21 dias

Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
926,5	831,2	10,2
537,4	453,2	15,6

Fonte: Dados da pesquisa (2017)