



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

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E
MICROESTRUTURAIS DO CONCRETO INCORPORADO COM
BORRACHA DE PNEUS**

Bervylly Lianne de Farias Santos

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Coorientador: Valter Ferreira de Sousa Neto

Campina Grande-PB, 27/07/2018

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E
MICROESTRUTURAS DO CONCRETO INCORPORADO COM BORRACHA
DE PNEUS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 27/07/2018

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

Bervylly Lianne de Farias Santos

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: Materiais de Construção.

Orientador: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Coorientador: Valter Ferreira de Sousa Neto

Campina Grande, Julho/2018.

FOLHA DE APROVAÇÃO

BERVYLLY LIANNE DE FARIAS SANTOS

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DO CONCRETO INCORPORADO COM BORRACHA DE PNEUS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 27/07/2018
perante a seguinte Comissão Julgadora:

Ana Maria Gonçalves Duarte
Prof. Dr^a Ana Maria Gonçalves Duarte
Orientadora

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

APROVADA

Valter Ferreira de Sousa Neto
Valter Ferreira de Sousa Neto
Co-orientador

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

APROVADA

Izabelle Marie Trindade Bezerra

Izabelle Marie Trindade Bezerra
Membro Interno

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

APROVADA

Macel Wallace Queiroz Fernandes
Macel Wallace Queiroz Fernandes
Examinador Externo

Departamento de Engenharia Civil
UNINASSAU

APROVADA

AGRADECIMENTOS

Nessa primeira jornada na vida acadêmica, recebi apoio desde a escolha da área considerada “masculina”, que resolvi seguir e da profissão que escolhi exercer na vida, então só tenho à agradecer aos meus pais primeiramente, por não terem hesitado em nenhum momento em apoiar minha decisão, me deixando livre para seguir meus sonhos e para ser quem eu quero ser no mundo, e por isso sou grata pelo resto da minha vida.

Meu profundo agradecimento aos mestres, professores e amigos que me ajudaram a chegar até aqui, por mais longo e tortuoso que fosse esse caminho, no apoio das pessoas ao meu lado, encontrei motivos para não desistir e persistir período após período. Deixo registrado também meu agradecimento especial a professora Ana Maria, por todos os aconselhamentos e sua disposição em ajudar sempre.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos os que me acompanharam nesse percurso, em especial a Bruno, pessoa com quem amo partilhar a vida. Obrigada pelo carinho, paciência e por sua capacidade de me trazer risos e sorrisos em meio à turbulência de cada semestre.

Epígrafe

“Qualquer coisa é possível, se você tiver nervos suficientes.”

J. K. Rowling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes básicos do concreto: a) Aglomerante (Cimento); b) Água. c) Agregado miúdo (areia); d) Agregado Graúdo (brita).	21
Figura 2: Produção mensal de cimento no Brasil ao longo dos anos.	22
Figura 3: Disposição incorreta de pneus no meio ambiente.	32
Figura 4: Composição de pneus radiais para automóveis.	34
Figura 5: Corte de um pneu radial de automóveis	34
Figura 6: Destinação de pneus inservíveis.	36
Figura 7: Ciclo de moagem de pneus.	39
Figura 8: Materiais Utilizados na fabricação do concreto: a) Brita 25mm; b) Areia Média; c) Cimento; d) Brita 9,5m; e) Resíduo de borracha.	46
Figura 9: Fluxograma das etapas da pesquisa.	47
Figura 10: Ensaio de Slump Test	52
Figura 11: Corpos de prova de concreto após a moldagem	53
Figura 12: Processo de cura dos corpos de prova utilizados neste estudo	53
Figura 13: Processo de realização do ensaio de absorção de água	54
Figura 14: Procedimento de determinação da massa específica	55
Figura 15: Resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto	56
Figura 16: Resistência à tração por compressão diametral do concreto em estudo	57
Figura 17: Ensaio de microscopia eletrônica de varredura.	58
Figura 18: Curva granulométrica do agregado graúdo natural (Brita 9,5 mm) ..	61
Figura 19: Curva granulométrica do agregado natural (Brita 25mm)	62
Figura 20: Curva granulométrica para o agregado miúdo natural	63
Figura 21: Resíduo de borracha de pneu.	65
Figura 22: Curva granulométrica para o resíduo de borracha de pneus	66
Figura 23: Absorção de água dos corpos de prova de concreto em estudo aos 28 dias.	68
Figura 24: Massa específica aparente dos corpos de prova do concreto em estudo.	69
Figura 25: Resistência à compressão simples do concreto em estudo	71

Figura 26: Resistência à compressão simples do concreto de referência e com 20% de resíduo de borracha de pneus	73
Figura 27: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência e com 10% de resíduo de borracha de pneus	74
Figura 28: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência e com 20% de resíduo de pneus	75
Figura 29: Distribuição das fissuras e padrão de ruptura do concreto com 20% de resíduo de borracha de pneu.....	76
Figura 30: Microscopia eletrônica de varredura do concreto em estudo: a) Concreto de referência; b) Concreto com 10% de adição de resíduo de borracha; c) Concreto com 20% de adição de resíduo de borracha.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Programa experimental	50
Tabela 2: Proporção dos materiais utilizados para produção dos corpos de prova	51
Tabela 3: Resultados obtidos para o ensaio de Slump Test para o concreto em estudo	52
Tabela 4: Caracterização física do agregado graúdo.	59
Tabela 5: Composição Granulométrica da brita 9,5 mm.	60
Tabela 6: Composição Granulométrica da brita 25mm.	61
Tabela 7: Composição granulométrica do agregado miúdo	63
Tabela 8: Caracterização física do agregado miúdo	64
Tabela 9: Composição granulométrica para o resíduo de borracha de pneus ..	65
Tabela 10: Caracterização física do resíduo de borracha de pneus	67
Tabela 11: Caracterização física do cimento	68
Tabela 12: Resistência à compressão axial dos corpos de prova.....	89
Tabela 13: Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova.	89

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABIP - Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados.

ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos.

ASTM - American Society for Testing and Materials.

CNI -Confederação Nacional da Indústria.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem.

FIHP - Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado.

FTIR- Espectroscopia de Infravermelhos com Transformadas de Fourier.

MEV- Microscopia Eletrônica de Varredura.

RMA - Associação dos Fabricantes de Borracha Norte Americana.

RBP - Resíduo de Borracha de Pneu.

SNIC - Sindicato Nacional da Industria do Cimento.

RESUMO

A área da construção civil embora seja um dos setores que mais explora os recursos naturais no seu processo produtivo, também apresenta um dos maiores potenciais para aproveitamento de diversos resíduos provenientes da indústria, por meio da incorporação desses resíduos como insumos de novos materiais, possibilitando assim alternativas viáveis em termos econômicos e sustentáveis. O concreto, em todas as suas mais diversas composições, é um dos materiais mais consumidos no mundo, encarregado de proporcionar as obras a estabilidade das estruturas e características específicas de resistência e trabalhabilidade. O estudo da incorporação de resíduos da indústria como material a ser adicionado a massa de concreto é fundamental no ramo da construção civil, pois além de incentivar a reutilização e o descarte correto dos substratos, explora as várias possibilidades de integração entre segmentos e as cadeias produtivas, sendo passível, através de ensaios, encontrar novas composições com desempenho equiparável ou mesmo superior as dos concretos já existentes no mercado. Dentre os resíduos gerados pela indústria, um dos mais significativos em volume e impacto ambiental produzido, é a borracha proveniente de pneus. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do concreto incorporado com resíduos gerados na produção de pneus. Para isso, foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10 x 20 (cm) com substituição parcial do agregado miúdo por teores de 10% e 20% de borracha proveniente de pneus. Foram realizados ensaios de caracterização física do resíduo, dos agregados convencionais e do cimento e caracterização física, mecânica e microestrutural do concreto incorporado com o resíduo de borracha, através dos ensaios de resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, absorção de água e massa específica aparente e microscopia eletrônica de varredura. Observou-se que a substituição do agregado miúdo convencional por teores de 10% e 20% de resíduo de borracha de pneus promoveu a redução das propriedades mecânicas do concreto e elevação da absorção, tornando inviável sua utilização para finalidades estruturais, no entanto, os resultados obtidos permitem sua utilização para finalidades diversas, tais como meio fios, calçadas, blocos de vedação e ciclovias.

Palavras-chave: Concreto; resíduo; construção civil.

ABSTRACT

The construction sector, although it is one of the sectors that most exploits natural resources in its production process, also presents one of the greatest potential for the use of various residues from the industry, by incorporating these residues as inputs of new materials, thus enabling viable alternatives in economic and sustainable terms. The Concrete, in all its most diverse compositions, is one of the most consumed materials in the world, in charge of providing the buildings stability and specific characteristics of resistance and workability. The study of the incorporation of industrial waste as a material to be added to the concrete mass is fundamental in the construction industry, as it encourages the reuse and correct disposal of the substrates, it explores the various possibilities of integration between segments and the productive chains, being possible, through tests, to find new compositions with comparable performance or even superior to those already existing on the construction sector. The rubber from useless tires is among the waste most significant in volume and environmental impact produced for by industry. In these ways, this research aimed to evaluate the performance of the concrete incorporated with waste generated in the production of tires. For this, the cylindrical specimens were molded in the 10cm x 20cm dimensions with partial replacement of the small aggregate by percents of 10% and 20% of rubber from tires. Physical and mechanical tests of the residue, conventional aggregates and cement and the physical, mechanical and microstructural characterization of the concrete incorporated to the rubber residue were held out through tests of resistance to axial compression, tensile strength by diametrical compression, absorption, apparent specific mass, and scanning electron microscopy. It was observed that the substitution of the conventional small aggregate with contents of 10% and 20% of tire rubber residue promoted the reduction of the mechanical properties of the concrete and elevation of the absorption, making its use unviable for structural purposes, however, the results obtained allow their use for diverse purposes, such as means wires, sidewalks, sealing blocks and bicycle paths.

Key words: concrete; residue; construction.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa	18
1.2 Hipótese da pesquisa	18
1.3 Objetivos	18
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 Organização do trabalho de conclusão de curso	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Propriedades e Características do Concreto	23
2.1.1 Propriedades do Concreto Fresco	24
2.1.1.1 Trabalhabilidade e Consistência	24
2.1.1.2 Exsudação	25
2.1.1.3 Coesão	25
2.1.2 Propriedades do Concreto Endurecido	26
2.2 A Construção Civil e os Impactos Ambientais	26
2.3 Produção e Descartes de Pneus no Brasil	33
2.4 Resíduo de Borracha de Pneu como Agregado na Construção Civil ...	38
2.5 Pesquisas Relacionadas	42
3. MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1 Materiais	46
3.2 Métodos	47
3.2.1 Caracterização Física dos Agregados, Cimento e do Resíduo de Borracha de Pneu	48
3.2.1.1 Análise granulométrica	48
3.2.1.2 Determinação da Massa Específica	48

3.2.1.3	Determinação da Massa Unitária	48
3.2.1.4	Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos	49
3.2.1.5	Ensaio de Finura	49
3.2.1.6	Absorção	49
3.2.2	Estudo da Dosagem do Concreto	50
3.2.3	Determinação das Propriedades do Concreto Fresco - Ensaio de Consistência do Concreto	51
3.2.4	Moldagem dos Corpos de Prova	52
3.2.5	Processo de Cura do Concreto	53
3.2.6	Determinação das Propriedades Físicas, Mecânicas e Microestruturais do Concreto Incorporado com Resíduo de Borracha de Pneu	53
3.2.6.1	Determinação de Absorção de Água.....	54
3.2.6.2	Massa Específica dos Corpos de Prova de Concreto	55
3.2.6.3	Resistência à Compressão Simples	55
3.2.6.4	Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	56
3.2.6.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	57
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1	Caracterização Física dos Materiais	59
4.1.1	Caracterização Física do Agregado Graúdo	59
4.1.2	Caracterização Física do Agregado Miúdo	62
4.1.3	Caracterização do Resíduo de Borracha de Pneu (RBP)	65
4.1.4	Caracterização Física do Cimento Portland	67
4.1.5	Caracterização Física do Concreto em Estudo	68
4.1.5.1	Determinação da Absorção de Água.....	68
4.1.5.2	Determinação da Massa Específica Aparente do Concreto em Estudo	69
4.1.6	Determinação das Propriedades Mecânicas do Concreto	71

4.1.6.1 Determinação da Resistência à Compressão Simples	71
4.1.6.2 Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral	74
4.1.6.3 Avaliação da Microestrutura do Concreto em Estudo	77
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	79
5.1 Considerações Finais	79
5.2 Sugestões para Pesquisas Futuras	80
REFERÊNCIAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

A sociedade atual tem apresentado uma preocupação cada vez maior com os problemas ambientais provenientes dos impactos gerados pela exploração desenfreada de recursos naturais, que tem mostrado consequências alarmantes para o meio ambiente. De acordo com Silveira (2016), a partir do final do século XX, após a Conferência Nacional das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio de Janeiro, 1992), as pesquisas científicas com o objetivo de estudar maneiras de otimizar os modos de produção afim de reduzir os desperdícios de materiais, economizar energia e assegurar a preservação ambiental, se tornaram fundamentais em todas as áreas de atuação.

Segundo Careli (2008), o setor da construção civil é responsável pelo consumo de aproximadamente metade de todos os recursos naturais do planeta, além de gerar um grande volume de resíduos no processo construtivo, aproximadamente 60% do total de resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente nos centros urbanos.

John (2010), afirma que os problemas que mais preocupam a sociedade moderna estão relacionados com o aquecimento global, a poluição atmosférica e das águas e a destruição de ecossistemas naturais, compondo as principais discussões internacionais. A busca por meios alternativos de se produzir, que tornem possível a sustentabilidade das atividades econômicas, através de medidas que promovam um crescimento sustentável com o mínimo de degradação está cada vez mais inserida nos meios políticos e acadêmicos, com as indústrias e setores econômicos optando por medidas que proporcionem a minimização da geração de resíduos e forneça uma destinação adequada aos resíduos gerados.

Nos últimos anos a construção civil já tem buscado reaproveitar alguns tipos de resíduos, como os produzidos nas obras diariamente, conhecidos como RCD (Resíduo de construção e demolição). Uma das alternativas viáveis para manutenção do equilíbrio e sustentabilidade ambiental é a reciclagem dos resíduos sólidos provenientes de outras atividades para substituir ou ser adicionado na produção de novos produtos. Dentre as várias aplicabilidades tem

se estudado o emprego do resíduo de borracha de pneus em pó como agregado miúdo na composição do concreto simples, de maneira a diminuir o volume utilizado de matéria prima não renovável e promover um descarte correto para o resíduo industrial. De acordo com Campos (2010), estudos são realizados para se obter maneiras mais difundidas de reaproveitar os pneus inservíveis, desde a década de 80.

Segundo Rodrigues e Santos (2013), os agregados reciclados de borracha de pneu são propícios de serem utilizados na indústria da construção civil, devido às características inerentes a este material, como leveza, elasticidade, absorção de energia, propriedades térmicas e acústicas.

Em 2016, segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), foram produzidos 70,7 milhões de unidades de pneus, sendo 64% desses pneus destinados à reposição. Essa porcentagem de pneus destinados a reposição, revela um volume preocupante de pneus inservíveis descartados anualmente. Uma possibilidade para o descarte adequado e ambientalmente correto desse material é a utilização desse material como agregado alternativo na produção de concreto simples, dando um destino ecológico ao resíduo que se descartado incorretamente, pode trazer diversos malefícios ao ser humano, pois embora não sejam considerados perigosos, são resíduos de difícil eliminação, que quando queimados liberam substâncias tóxicas e cancerígenas, como dioxinas e furanos, além de causar transtornos à população em relação a obstrução de espaços e aos criatórios de mosquitos tropicais.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas e microestruturais do concreto simples incorporado com resíduo de borracha de pneu, analisando a viabilidade dessa solução alternativa que busca minimizar o descarte de pneus inservíveis de maneira incorreta e promover a sustentabilidade ambiental.

1.1 Justificativa

Devido à necessidade dos setores industriais se engajarem nas questões ambientais, a construção civil vem buscando soluções para o consumo exacerbado de recursos naturais, em busca de minimizar os efeitos nocivos do crescimento econômico do ramo da construção civil ao meio ambiente. Uma das alternativas cabíveis e viáveis é a reciclagem de materiais provenientes de outros setores industriais e que, em grande parte ainda é disposto incorretamente nas cidades, tal como os pneus inservíveis. O estudo da utilização da borracha de pneu como agregado na produção de concreto simples, com a borracha utilizada in natura, após passar somente por processo de moagem, é importante para verificar as propriedades mecânicas e microestruturais do concreto com adição do resíduo, analisando a sua aplicabilidade sem a adição de custos adicionais para otimização dos resultados do concreto estudado.

1.2 Hipótese da pesquisa

Foi adotada a hipótese inicial de que o resíduo proveniente da borracha de pneus pode ser utilizado como agregado miúdo na confecção de concreto simples, sendo uma alternativa que promove a redução do descarte desse rejeito no meio ambiente e o desenvolvimento de um processo que possibilite seu aproveitamento e obtenção de um concreto eficiente e com redução do custo econômico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo principal avaliar o desempenho do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneus.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as propriedades físicas do concreto simples incorporado com resíduo de borracha de pneus;
- Estudar as propriedades mecânicas do concreto simples incorporado com resíduo de borracha de pneu;
- Avaliar a microestrutura do concreto em estudo;
- Contribuir para minimização dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de pneus inservíveis.

1.4 Organização do trabalho de conclusão de curso

O texto deste Trabalho de Conclusão de Curso -TCC encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

Introdução – Introdução, Justificativa, Hipótese da pesquisa, Objetivos da Pesquisa e Organização da Pesquisa.

Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados ao concreto com substituição parcial do agregado por resíduo de borracha de pneu inservível.

Materiais e Métodos – São apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental

Resultados e discussões – São apresentados os resultados obtidos para os ensaios realizados neste estudo.

Considerações Finais e Sugestões para pesquisas futuras

Por fim, estão as Referências, onde serão listadas as pesquisas citadas no desenvolvimento deste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O concreto é um dos materiais construtivos mais difundidos e utilizados pela sociedade atual, devido a sua popularidade como material com finalidade estrutural. Trata-se de um material versátil, que pode ser utilizado em praticamente todos os tipos de obra, pois é constituído por materiais de fácil acesso, como a água, cimento, areia e pedra, que forma um material resistente, de fácil execução e baixo custo, quando comparado com outros materiais estruturais. É um material comum no dia a dia, podendo ser visto numa infinidade de obras de infraestrutura, como casas, rodovias, obras de saneamento, barragens, pontes, usinas nucleares, dentre outros. Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos (PEDROSO, 2016).

Ao analisar as etapas construtivas da indústria da construção civil, o concreto destaca-se como um dos materiais mais presentes e que mais consome recursos naturais. O concreto é tido como um dos materiais mais consumidos no mundo, sendo um material constituído essencialmente por recursos não renováveis.

Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials), pode-se definir o concreto como um material composto, onde estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas em um meio aglomerante, como ilustrado na Figura 1. O aglomerante utilizado na mistura de concreto é o cimento ativado em presença de água. Existem diversos tipos de materiais granulares que são utilizados atualmente na composição do concreto, como a areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto-forno e resíduos de construção e de demolição, dependendo da região e da finalidade do material. Quanto ao tamanho das partículas de agregado, quando são maiores do que 4,75mm, o agregado é dito graúdo; caso contrário, o agregado é considerado miúdo. Podem ainda serem utilizados aditivos na mistura com finalidades específicas. Os aditivos e adições são substâncias químicas adicionadas ao concreto em seu estado fresco que lhe

alteram algumas propriedades, adequando-as às necessidades construtivas (PEDROSO, 2016).

Figura 1: Componentes básicos do concreto: a) Aglomerante (Cimento); b) Água. c) Agregado miúdo (areia); d) Agregado Graúdo (brita)



FONTE: Lucena (2015)

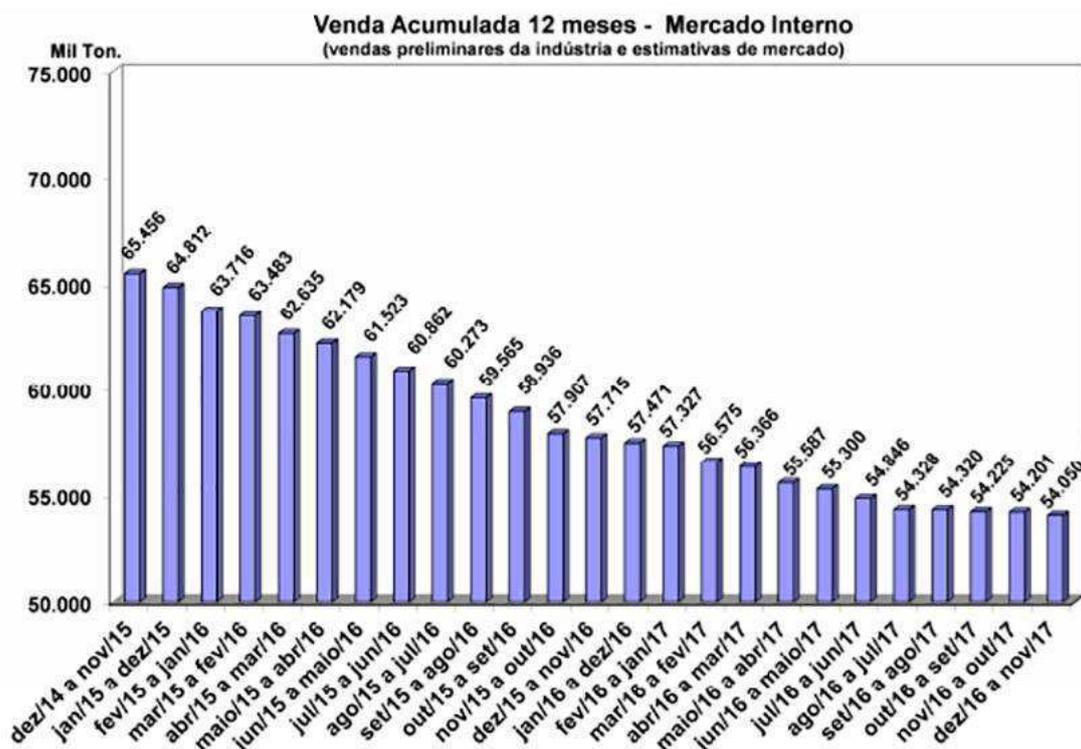
Uma das maneiras de classificar o concreto é por meio de sua massa específica. Segundo Mehta & Monteiro (2014), o concreto pode ser classificado da seguinte forma:

- Concreto normal, produzidos com agregado miúdo natural e agregado graúdo de britagem, possuem massa específica na ordem de 2400 kg/m^3 .
- Concreto leve possuem massa específica menor que 1800 kg/m^3 , são produzidos com agregados, que assim como o concreto, devem possuir massa específica inferior aos agregados convencionais.
- Concreto pesado é usado como blindagem de radiação, é produzido com agregados com alta densidade e possui massa específica superior a 3200 kg/m^3 .

Embora o concreto seja composto pelo conjunto de diferentes componentes, o segredo para que o material seja tão popular e se comporte como desejado, apresentando resistência à ação da água e plasticidade, está na presença do cimento. Este é a mistura finamente moída de compostos inorgânicos calcinados (calcário, argila) que, quando combinada com água, endurece. As reações químicas entre os minerais do cimento e a água (reações de hidratação) resultam na pasta que se solidificará com o tempo, reunindo em torno de si os agregados (PEDROSO, 2016).

Uma das maneiras de avaliar o consumo de concreto no país é analisar justamente o consumo de cimento, que é um dos materiais indispensáveis na sua produção. O comércio de cimento é um indicativo da produção de concreto e da situação econômica da construção civil. De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), a produção de cimento no Brasil nos últimos anos pode ser ilustrada abaixo na Figura 2.

Figura 2: Produção mensal de cimento no Brasil ao longo dos anos



FONTES: SNIC (2018)

A partir de 2015, como ilustrado na Figura 2, houve uma queda no consumo de cimento, devido à crise econômica no país que afetou o desempenho de diversos setores, entre eles o setor da construção civil. Em 12 meses, as vendas totalizaram 54,1 milhões de toneladas, quantidade 6,4% menor do que nos 12 meses anteriores (dez/15 a nov/16). No mês de novembro de 2017, foram vendidas 4,6 milhões de toneladas, o que representa uma queda de 3,2% em relação a novembro de 2016 (SNIC,2017).

2.1 Propriedades e Características do Concreto

A produção do concreto pode ser feita in loco nas obras ou em usinas específicas, que apresentam a vantagem de se ter o controle rigoroso nas etapas de fabricação. O processo de fabricação deve ser bastante criterioso de modo a garantir que o material atinja as características e propriedades desejadas, sendo necessário um estudo de dosagem do concreto para determinar a melhor proporção entre os materiais constituintes, também conhecido como traço do concreto. Qualquer estudo de dosagem dos concretos tem fundamentos científicos e tecnológicos fortes, mas sempre envolve uma parte experimental em laboratório e/ou campo, o que faz com que certos pesquisadores e profissionais considerem a dosagem do concreto mais como uma arte do que uma ciência (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Segundo Helene & Terzian (2001, apud Granzotto, 2010), a dosagem do concreto pode ser definida como a combinação correta entre os agregados constituintes que estejam de acordo com as seguintes condições:

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

Para que se obtenha um concreto de boa qualidade que atenda a finalidade estabelecida, as operações de produção devem ser executadas com excelência. Ainda de acordo com os autores, as propriedades funcionais do concreto endurecido, tais como resistência, durabilidade e aparência, só podem ser asseguradas se a trabalhabilidade do concreto fresco for compatível com as condições de trabalho. Ou seja, a qualidade do concreto é garantida com o gerenciamento de suas propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Segundo Granzotto (2010), a água é outro item que requer cuidado durante a preparação do concreto, quanto a sua quantidade e qualidade, pois esta é responsável pela reação química que transforma o cimento numa pasta

aglomerante. Caso a quantidade utilizada seja inferior a ideal, a reação química será incompleta, e caso a quantidade seja superior a resistência sofrerá alterações. Essa proporção entre o peso da água e do cimento usados no traço do concreto é chamada de fator água/cimento(a/c).

2.1.1 Propriedades do Concreto Fresco

Durante o tempo em que o concreto permanece plástico, as principais propriedades a serem analisadas são: Trabalhabilidade, consistência, exsudação e coesão. A trabalhabilidade pode ser vista como uma propriedade resultante da combinação das demais propriedades.

2.1.1.1 Trabalhabilidade e Consistência

A trabalhabilidade do concreto pode ser entendida como a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com a menor perda de homogeneidade, incluindo as etapas de transporte, lançamento, adensamento e acabamento (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

A trabalhabilidade é uma propriedade do concreto fresco composta por outras duas características: consistência e coesão. Consistência é definida pelo grau de umidade presente na mistura (NEVILLE, 2016).

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a trabalhabilidade do concreto está relacionada a três aspectos:

- Adensamento do concreto e redução de vazios.
- Facilidade no preenchimento das fôrmas e dos espaços entre as barras de aço das peças de concreto.
- Conservação da homogeneidade do concreto, durante manuseio e vibração.

Não há na engenharia um ensaio que meça diretamente a trabalhabilidade do concreto. Sendo assim, a trabalhabilidade é estimada a partir do ensaio que mede a consistência, tido como ensaio de Abatimento do Tronco de Cone ou Slump Test. A consistência é uma propriedade que confere

plasticidade ao concreto e por consequência atribui características próprias de trabalhabilidade, isto é o material pode ser mais ou menos propício de ser empregado para determinada finalidade.

2.1.1.2 Exsudação

A exsudação é definida como um fenômeno cuja manifestação externa é o aparecimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém antes de ocorrer a sua pega (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Esse acontecimento ocorre de acordo com a maior ou menor capacidade dos materiais constituintes em manter a água de amassamento dispersa na mistura.

2.1.1.3 Coesão

A coesão caracteriza-se pela facilidade de adensamento e acabamento, sendo avaliadas pela capacidade de desempenamento e pela resistência à exsudação e segregação (MEHTA & MONTEIRO, 2014). Um concreto que apresente coesão eficiente, é homogêneo e mantém uma boa distribuição de materiais na mistura durante todas as etapas de manuseio, desde a produção até o adensamento na concretagem da estrutura. Tal propriedade é afetada diretamente pela proporção entre agregados graúdos e miúdos no concreto, sendo necessário analisar diferentes proporções para se obter a coesão adequada de acordo com a finalidade da mistura.

Há diversos fatores que afetam a consistência e a coesão e por isso esses dois componentes da trabalhabilidade podem trabalhar de forma diferente. Em geral a consistência e/ou coesão são controlados pela quantidade de água na mistura, o teor de cimento, a granulometria dos agregados, aditivos utilizados e outras características físicas que afetam a perda de abatimento (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

2.1.2 Propriedades do Concreto Endurecido

Ao analisar o concreto, têm-se que o fim do tempo de pega determina o enrijecimento do material, isto é, a partir deste momento as propriedades a serem observadas são as que influenciam o comportamento da mistura endurecida. Existem diversas propriedades que podem ser analisadas no estudo do concreto endurecido, como a resistência a compressão, módulo de elasticidade, retração, fluência, permeabilidade, durabilidade, carbonatação, entre outras.

Em projetos de estruturas o concreto é considerado o material mais adequado a resistir às tensões de compressão. A resistência do concreto é avaliada em função do processo de hidratação do cimento, sendo um processo relativamente lento. Geralmente os ensaios de resistência a compressão de concreto são feitos por meio de ruptura de corpos de provas, curados em ambientes com temperatura e umidade controlada por 28 dias (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

O ensaio de resistência à compressão axial de concretos é o ensaio mais comum, sendo considerado o principal ensaio realizado com concreto no estado endurecido. Sua grande fama é em decorrência da sua facilidade de execução e às várias características do concreto que podem ser avaliadas por meio desse ensaio (NEVILLE, 2016).

Embora o concreto não seja um material projetado para resistir a esforços de tração, o seu conhecimento é essencial para a determinação da carga em que a fissuração inicia. A ausência de fissuras em estruturas de concreto é importante para a manutenção e prolongamento de sua vida útil, prevenindo o aparecimento de corrosão nas armaduras (NEVILLE, 2014)

2.2 A Construção Civil e os Impactos Ambientais

A indústria da construção civil é responsável por um alto índice de consumo de recursos naturais, na construção das mais diversas obras de infraestrutura, obras de edifícios e residências, causando um enorme impacto ao meio ambiente sob diversas perspectivas, como a geração de resíduos e a

utilização exaustiva de recursos naturais. Com o processo de urbanização, crescimento populacional e aumento do uso de materiais descartáveis, as questões ambientais e a sustentabilidade vêm ganhando foco em todos os setores da sociedade, seguindo uma predisposição internacional de preservação ambiental.

O homem moderno ainda depende fortemente da extração de recursos naturais, embora tenha havido avanços significativos na tecnologia atrelada ao processo produtivo, o que causa preocupação e incentiva a busca por meios alternativos de minimizar os impactos ambientais através de políticas ambientais mais rígidas e a reutilização de materiais descartados nos mais diversos setores econômicos. Agopyan & John (2011) asseguram que tríade a ambiente-economia-sociedade deve trabalhar integralmente, caso contrário, o desenvolvimento sustentável não é alcançado, logo o desafio é obter a evolução da economia seguindo as expectativas da sociedade, preservando o meio ambiente para o futuro.

A construção civil é, indiscutivelmente, um dos setores que mais impacta o meio ambiente, devido ao consumo de grandes quantidades de materiais provenientes da natureza. O crescimento econômico de um país costuma estar atrelado ao desenvolvimento do setor da construção civil. O Brasil apresentou crescimento significativo na área da construção nas últimas décadas, aumentando o volume de recursos naturais explorados e de resíduos descartados. Entre as consequências desse crescimento, os agregados naturais como areias e britas, ficam cada vez mais limitados, sobretudo em torno de grandes centros urbanos, o que aumenta as despesas com transporte e os impactos ambientais secundários relacionados a essa atividade.

Segundo Silva & Fernandes (2012), aproximadamente 60% dos resíduos sólidos gerados nas cidades diariamente, são resíduos provenientes de construções. Os Resíduos da Construção Civil (RCC) geram inúmeros problemas à sociedade a medida que acarretam em problemas de saneamento e contaminação ambiental, propiciando ambientes propícios a proliferação de vetores, além de gerar escassez de áreas de deposição e afetarem a estética paisagística dos centros urbanos, levando-se em consideração a massa e volume ocupados.

O volume exagerado de resíduos sólidos gerados diariamente nas obras de construção não é o único fator de preocupação, soma-se a essa problemática a falta de gestão das autoridades competentes. A ineficiência das políticas públicas que disciplinam e ordena a destinação dos resíduos sólidos e/ou o descompromisso dos geradores no manejo e destinação dos mesmos são algumas das principais causas dos impactos ambientais (LARUCCIA, 2014).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) os RCC são por definição, todos resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo também os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

Os resíduos da atividade de construção e demolição são gerados em massa superior a 500 kg/hab. ano, neste total está incluso os resíduos gerados na extração e processamento de materiais (JOHN, 2010). De acordo com os dados coletados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016), foram coletados nos municípios no ano de 2016 o total de 71,5 milhões de toneladas resíduo de construção e demolição (RCD), equivalente a 1,040kg/hab/dia. Se comparado ao ano anterior, observa-se uma retração no valor, o que reflete o efeito da retração econômica nas pequenas construções que geralmente acabam por lançar resíduos irregularmente em locais públicos.

A difusão da importância com as questões ambientais está presente nos mais diversos setores, porém a natureza do setor de construção faz necessário que a engenharia civil se reinvente à medida que os recursos naturais constituem uma fonte esgotável de recursos e a demanda por materiais passa a ser maior que a oferta disponível na natureza. O incremento dos percentuais de reciclagem é uma meta buscada atualmente não apenas no Brasil, mas também em várias partes do mundo, que já contam com medidas concretas de estímulo e desoneração para viabilizar os avanços pretendidos (ABRELPE, 2015).

Desse modo, John (2010) ressalta a importância em minimizar o consumo de insumos na construção, mediante a estudos de projetos, racionalização de processos e da aplicação dos materiais, e principalmente, através da reciclagem e reaproveitamento nas obras de construção.

Segundo Levy (2010, *apud* Bravo, 2014), a reciclagem ou a reutilização dos resíduos de construção seriam formas adequadas de se reduzir a extração de matéria prima e diminuir a geração de resíduos. Isto tem levado países e empresas a repensarem na forma de utilização dos recursos naturais, sendo cada vez mais comum a reciclagem e o reuso de resíduos oriundos da construção civil e de outras indústrias. O avanço tecnológico tem tornado possível o desenvolvimento de novos materiais e de novos métodos de reaproveitamento e reciclagem de resíduos.

A logística de planejamento, controle, estocagem e transporte do material pós-venda e pós-consumo agregando-lhe valores econômicos e ecológicos é denominada de logística reversa, pois se trata do fluxo inverso no ciclo produtivo, partindo do ponto de consumo em direção ao ponto de origem (SOUZA, 2014).

De acordo com Filho et al. (2015), ao aplicar a logística reversa as empresas estão em busca de três objetivos principais, a preocupação em estar de acordo com a legislação ambiental vigente, os ganhos financeiros com a utilização de produtos reciclados, além do ganho de publicidade positiva ao atrelar a imagem da empresa as questões de conscientização ambiental.

O estudo de materiais se transformou em ferramenta de descoberta de novas maneiras de se construir minimizando o consumo de recursos naturais e possibilitando construções cada vez mais sustentáveis.

Entre esses novos materiais, Rossignolo (2009) destaca os aditivos redutores de água e as adições minerais pozolânicas, que possibilitaram melhorias significativas no desempenho e nas propriedades do concreto no que se refere à resistência mecânica e à durabilidade.

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). Entre esses concretos especiais estão o concreto com ar incorporado, o concreto leve, o concreto poroso ou celular, dentre outros.

Diferentes resíduos vêm sendo estudados como agregados para o concreto, tais como: resíduos da construção civil, escória granulada de alto forno, cinza volante, sílica ativa, poliestireno, garrafa pet triturada, chifre de boi, fibra de vidro e borracha de pneu. Os diferentes resíduos estudados atualmente para a incorporação na construção civil passam por diferentes processos de reciclagem devido a suas diferentes propriedades. Estudos já realizados apontam que o concreto com agregados reciclados pode ser aplicado de diferentes formas, desde concretos de baixa resistência a concretos de alta resistência, além de argamassas (GRANZOTTO,2010).

John & Gleize (2010) concluíram que nos últimos anos o avanço da ciência proporcionou um salto na ciência dos materiais, que atualmente trabalha no aperfeiçoamento e otimização de materiais, de modo a cumprir com as especificações desejadas. Esse avanço pode ser observado através da descoberta de diversos materiais passíveis de serem utilizados no concreto, como adições de fibras – aço, nylon e polipropileno – e adições de minerais como a sílica ativa e metacaulim, além da substituição dos agregados naturais por agregados reciclados, tanto resíduos de construção civil como do setor industrial, tal como o resíduo de borracha de pneu.

Embora muitos materiais naturais ainda não sejam considerados passíveis de serem substituídos, tem se feito avanços na pesquisa de maneiras alternativas de se construir que minimizem a escassez de recursos naturais que já é perceptível, principalmente nas proximidades dos centros urbanos. Um dos caminhos para poupar o uso de recursos naturais está na utilização de resíduos provenientes de outros setores industriais, como agregado para concreto, substituindo o agregado natural ou sendo adicionado a massa com o intuito de aumentar o volume final do traço. A utilização desse resíduo na composição do concreto oferece uma destinação adequada para resíduos industriais, além de diminuir o consumo de agregados naturais e assim o custo econômico de produção do concreto.

De acordo com Geacobbe (2008), os pneus são resíduos especiais, merecendo atenção especial nas discussões acerca dos impactos ambientais e questões sanitárias.

Dados do IBGE (2018) apontam que o número de habitantes no Brasil é de aproximadamente 209 milhões de habitantes e 65,8 milhões de veículos registrados (DENATRAN, 2018). Sendo assim, o país possui uma média de 3,2 veículos/habitante.

Segundo projeções realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), estima-se que a frota de veículos individuais e comerciais leves irá atingir cerca de 130 milhões de unidades até 2050, o que significa dizer que teremos 1 veículo a cada 1,7 habitantes, aproximadamente.

Desse modo, o resíduo de pneu inservível pode ser visto como uma prioridade quanto à busca por meios eficientes de destinação adequada, que inclui o reaproveitamento do pneu de diversas maneiras, desde os processos de reforma – recapagem, recauchutagem e remoldagem –, até a reciclagem, quando o pneu é considerado inservível.

Devido ao grande aumento no número de carros em todo o mundo, o acúmulo de pneus inservíveis se tornou um sério problema de gestão de resíduos (GANJIAN et al., 2009).

Os pneus inservíveis dispostos incorretamente na natureza, constituem um passivo ambiental que resultam em um sério risco ao meio ambiente e à saúde pública. o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, cita em nota que, para cada quatro pneus novos fabricados no país ou pneus novos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis (CONAMA, 2012). A Figura 3 ilustra os danos que os pneus dispostos incorretamente podem causar ao meio ambiente.

Figura 3: Disposição incorreta de pneus no meio ambiente



FONTE: Júnior (2014)

De acordo com Campos (2010), desde a década de 80, no Brasil, está sendo realizado pesquisas para se obter formas mais difundidas de reaproveitamento do pneu inservível, incorporando fibras a matrizes de cimento, o que é corroborado segundo os dados do IBAMA(2018), que mostra que aproximadamente 60% dos pneus inservíveis coletados pelo foram reciclados na forma de combustível em indústrias de cimento no Brasil, no ano de 2016.

O resíduo de borracha de pneu inservível pode ser tido como um material versátil, que faz com que possa ser empregada em diversas finalidades, como a incorporação do resíduo na composição de novos materiais e misturas, como o concreto.

Para Alves & Cruz (2007), o pneu apresenta composição química avançada, de modo que ao se incorporar o resíduo como agregado no concreto, esta química seja transferida para a mistura, fazendo com que apresente maior resistência as intempéries, ao envelhecimento e se torne um material mais elástico, sendo a grande vantagem do concreto borracha.

Os estudos de medidas cabíveis, como a utilização do resíduo de borracha de pneu, que possibilitem a substituição parcial ou total de alguns dos componentes do concreto de maneira eficaz, permitindo que se obtenha um material de resistência equiparável e viável de ser utilizado amplamente no mercado representa um passo enorme para o setor da construção civil e para o meio ambiente. Ainda que seja mundialmente o material mais empregado na construção de estruturas, o concreto é o resultado da combinação de recursos

essencialmente não renováveis, cuja exploração ainda é feita de maneira agressiva e danosa ao meio ambiente, para atender à uma demanda que tende a crescer exponencialmente ao longo dos anos (BARATTO, 2015).

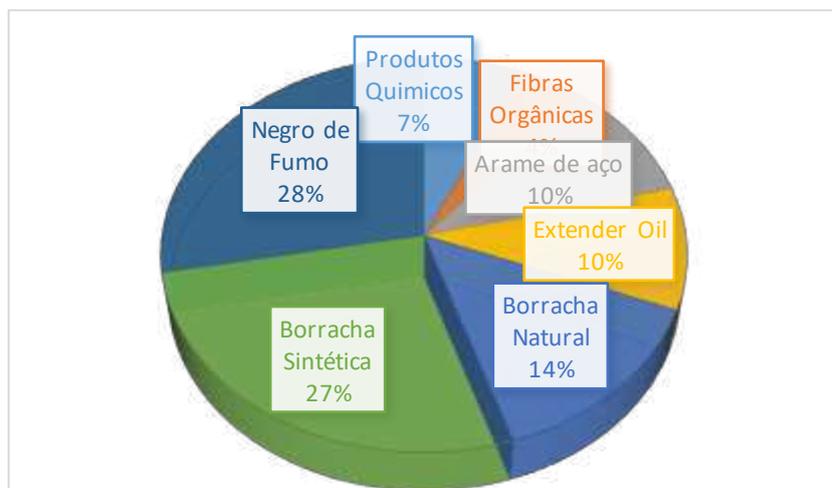
2.3 Produção e Descartes de Pneus no Brasil

A produção do pneu passou por muitas experiências e etapas, com contribuições de diversos pesquisadores, desde sua origem no século XIX até os dias de hoje. Os experimentos iniciais foram conduzidos por Charles Goodyear que, por volta de 1830, acidentalmente, descobriu que a borracha cozida a altas temperaturas com enxofre mantinha as condições de elasticidade tanto no frio quanto no calor (ANIP, 2013). Deste modo, em 1841 Charles Goodyear registrou o processo de vulcanização da borracha, dando início a uma nova era na utilização deste material (FAZZAN, 2011).

A indústria de pneus representa um dos ramos mais atrativos economicamente para o país, num cenário onde o Brasil é o detentor da maior frota de automóveis dos países em desenvolvimento. Segundo a ANIP (2016), atuam no Brasil, onze empresas fabricantes de pneus - Bridgestone, Continental, Dunlop, Goodyear, Levorin, Maggion, Michelin, Pirelli, Rinaldi, Titan e Tortuga - com 20 fábricas instaladas em diversos estados do país. Ainda de acordo com a ANIP (2016), em 2016 foram fabricadas mais de 70 milhões de unidades de pneus, sendo 18,5% destinados à exportação.

O pneu se tornou um material indispensável no dia a dia da sociedade, garantindo conforto, segurança e estabilidade para os veículos. Trata-se de um material composto pela combinação de diversos componentes como borracha sintética, negro de fumo, borracha natural, dentre outros, como ilustra a Figura 4. O pneumático apesar de ser um produto biodegradável, é de difícil decomposição, aproximadamente 600 anos. Os pneus podem ser transformados em óleo, gás e enxofre. Além disso, os arames que existem nos pneus radiais podem ser separados por meios magnéticos. Uma tonelada de pneus rende cerca de 530 kg de óleo, 40 kg de gás, 300 kg de negro de fumo e 100 kg de aço (AMBIENTE BRASIL, 2007).

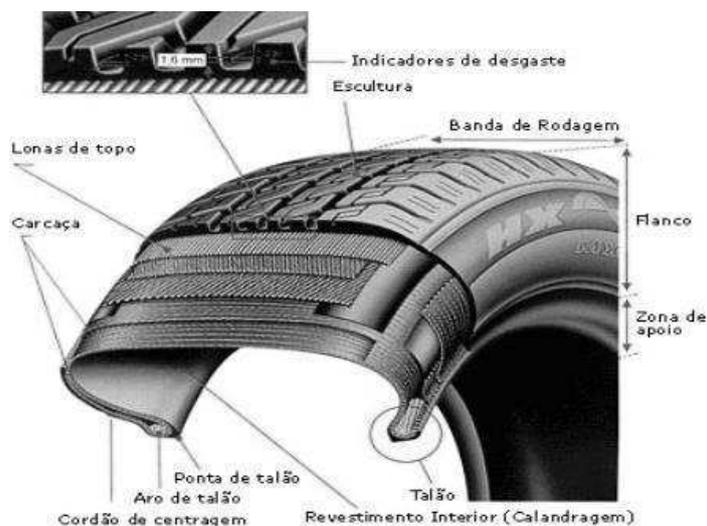
Figura 4: Composição de pneus radiais para automóveis



FONTE: Autoria Própria (2017)

Os pneus para veículos de passeio são constituídos de diferentes partes, como ilustrado abaixo na Figura 5.

Figura 5: Corte de um pneu radial de automóveis



FONTE: Andrade(2007)

De acordo com o art. 15 da Resolução Conama 416/09, é vedada a destinação final de pneus no meio ambiente, tais como o abandono ou lançamento em corpos d'água, terrenos baldios ou alagadiços, a disposição em aterros sanitários e a queima a céu aberto. Na mesma resolução em seu art. 14, é vedada a destinação final de pneus que ainda se prestam para processos de reforma, de acordo com as normas técnicas em vigor.

Carvalho (2007) afirma que atualmente ainda não é possível reciclar os pneus inservíveis para a confecção de novos pneus, pois as propriedades da borracha são alteradas e não é capaz de alcançar as propriedades mecânicas necessárias para a fabricação de um novo pneu.

Uma das maiores dificuldades na reciclagem de resíduos de borracha está na irreversibilidade do processo de vulcanização, que é uma reação química por meio do qual os átomos de enxofre se ligam as cadeias principais dos polímeros, em ligações cruzadas. A banda de rodagem do pneu ou rolamento, que constitui a parte que fica em contato direto com o solo durante o período de uso, é o local que se desgasta mais rapidamente no pneu. Devido a este fato é permitido sua recomposição, mantendo-se as outras partes para reutilização. Este procedimento é chamado de recauchutagem ou recapeamento (GRANZOTTO, 2010).

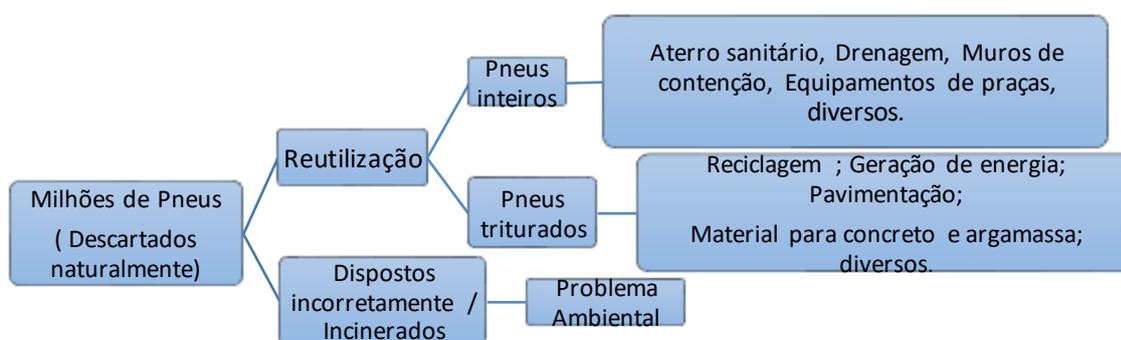
A reforma dos pneus é uma solução viável a fim de diminuir o volume de pneus produzidos para reposição e o aumento no número de pneus descartados, porém o processo de remoldagem ou recauchutagem ainda gera resíduos que precisam ser destinados corretamente. O impacto ambiental do processo de recauchutagem do pneu é muito menor do que o impacto da produção de um pneu novo. A menor quantidade de matéria prima necessária para a recauchutagem implica na redução de até 80% no custo do processo (CONSTANTINESCU, 2012).

Apesar da recauchutagem ser capaz de prolongar a vida útil do pneu, esse processo gera resíduos, pois a banda de rodagem é removida através de raspagem. As raspas de pneu são economicamente mais viáveis para reciclagem, pois dispensam a fase de trituração do pneu, no caso de pneus inservíveis. A borracha oriunda da raspagem apresenta poucas impurezas como óleos, fibras de náilon e aço ou ainda impurezas oriundas ao uso do pneu (FREITAS, 2007).

O gerenciamento ambientalmente adequado de pneus inservíveis, buscando-se priorizar o uso de novas tecnologias de reutilização e de reciclagem, é de fundamental importância na minimização dos impactos ambientais. Os pneus possuem um ciclo de vida composto por cinco fases:

extração, produção, consumo, coleta de pneus descartados e gerenciamento do lixo, podendo ter uma variação nesse ciclo de acordo com a indústria e a economia local. O pneu é tido como inservível quando não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional, segundo a resolução do CONAMA 258/99. Após passar por esse ciclo, em vários países, pneus que não são mais aptos a reformas e recauchutagem são aproveitados como fonte de energia, destinados para a reciclagem ou exportados para países que tenham fiscalização mais brandas. A Figura 6 mostra as diversas aplicabilidades do pneu descartado a qual se tem dado como destino no país.

Figura 6: Destinação de pneus inservíveis



FONTE: Autoria Própria (2017)

Um dos grandes problemas do gerenciamento de pneus usados é o descarte ilegal, sendo essa uma questão global. O Brasil tem se mostrado à frente de outros países quanto a responsabilização dos fabricantes pela destinação ambientalmente correta dos produtos fabricados. Após a aprovação pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) da resolução 258/1999, que determina que todos os fabricantes ou importadores de pneus devem dar uma destinação adequada aos seus pneus inservíveis, com declaração anual junto ao IBAMA da destinação adequada dos produtos. A Resolução Conama 416/2009, em vigor atualmente, determina que para cada pneu novo fabricado, seja dada destinação correta para um pneu inservível.

Segundo a ANIP, foi criada em 2007 a Reciclanip, voltada para a coleta e destinação de pneus inservíveis no país. A iniciativa tem origem no Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, de 1999, sendo a

Reciclanip considerada uma das principais iniciativas na área de pós-consumo da indústria brasileira, por reunir mais de 1000 pontos de coleta no Brasil. De acordo com dados da Reciclanip, desde o ano de 1999, quando iniciou a coleta dos pneus inservíveis pelos fabricantes, mais de 4 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 821 milhões de pneus de passeio, foram coletados e destinados adequadamente até o final de 2016.

Para Granzotto (2010), a quantidade de resíduos sólidos provenientes da indústria de borracha e do descarte de pneumáticos tem incentivado vários estudos acerca da reutilização e reciclagem deste material. Uma das soluções mais estudadas é a incorporação do material como agregado em pavimentos betuminosos, principalmente em países que assim como o Brasil, o sistema de transporte rodoviário é predominante.

Ainda de acordo com Granzotto (2010), apesar da utilização da borracha reciclada de pneumáticos inservíveis em pavimentos ser uma possível solução para atenuar o problema e da deposição desse resíduo, cabe salientar que muito ainda tem-se a pesquisar, pois o consumo deste material no mundo tem a todo instante se elevado.

A reciclagem dos pneus pode ser subdividida em etapas: coleta, transporte, trituração e separação dos componentes – lona, borracha e aço. Após a separação, os resíduos podem ser direcionados a linha de produção como novas matérias primas.

De acordo com a CEMPRE (2009), a borracha dos pneus inservíveis coletados depois de passar pela separação dos outros componentes do pneu e pela moagem, pode ser utilizada de diversas formas. Dentre produtos que podem reaproveitar a borracha estão solados de sapatos, pisos industriais, dutos pluviais, materiais de vedação e pisos para quadras poliesportivas. A borracha separada e moída, também é utilizada na mistura asfáltica para uso em pavimentação, sendo denominado de asfalto borracha. No entanto, a maioria porcentagem do material coletado ainda é utilizado como combustível para indústrias de cimento. O uso em concreto não estrutural vem sendo progressivamente estudado, mas ainda se trata de uma alternativa pouco adotada.

2.4 Resíduo de Borracha de Pneu como Agregado na Construção Civil

Diante das pesquisas que tem se feito para analisar formas viáveis de reutilização dos pneus inservíveis, o uso da borracha de pneu moída na construção civil vem sendo alvo de estudos já há alguns anos, afim de verificar a sua viabilidade, pois a borracha proveniente desse material possui diversos atrativos como subproduto. O rejeito resultante da recauchutagem vem sendo testado em algumas pesquisas acadêmicas, como fibra para composição do concreto, por exemplo.

Bazani (2009) ressalta que o Brasil ocupa o segundo lugar no ranking mundial de recauchutagem de pneus, posição de destaque junto à vários países no combate pela conservação ambiental.

A reciclagem de pneus pode se mostrar presente em diversas aplicações no ramo da construção civil: material de enchimento de peso leve; proteção de aterro e encostas em estradas; suporte de base de estrada; sistema de drenagem de gases em aterros sanitários; material para compostagem; isolante térmico e acústico; aditivos para pavimentos asfálticos e pistas esportivas, além do emprego em concretos leves (GOMES FILHO, 2007).

A incorporação de resíduos de pneus em misturas que tem como base o cimento, além de ser uma colaboração do setor da construção civil para reciclagem do resíduo e sustentabilidade do meio ambiente, pode otimizar a performance dos materiais com sua adição, devido suas propriedades elásticas, resistência ao impacto e baixa massa específica, características que são comumente desejadas em concretos, podem ser melhoradas através da inserção do resíduo de borracha em sua composição.

Cincotto (1983, *apud* GOMES FILHO, 2007), em relatório da OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), sugere que sejam utilizados os seguintes critérios para avaliação da utilização do resíduo na construção civil:

- O resíduo precisa ser relativamente inofensivo no manuseio durante as etapas construtivas e após a sua incorporação na estrutura.

- A quantidade de resíduo disponível no local, deve ser grande o suficiente de modo a justificar a implantação de sistemas de manuseio, processamento e transporte;
- As distâncias de transporte precisam ser economicamente e tecnicamente viáveis se comparadas com as distâncias de transporte dos materiais convencionais.

A busca pela sustentabilidade do mercado de pneus implica no esforço conjunto das partes envolvidas desde a coleta até o processo de reciclagem, sendo necessário adotar políticas e programas governamentais e de iniciativa privada que proporcionem condições de desenvolver novas tecnologias inovadoras, de maneira a viabilizar a fabricação de produtos reciclados que apresentem desempenho semelhante ou superior ao original, com custos de produção acessíveis.

Uma das problemáticas na utilização do resíduo de borracha é a necessidade do processo de moagem, que se torna oneroso de acordo com a diminuição das partículas com que se deseja trabalhar, e que de acordo com as dimensões empregadas, pode apresentar resultados mais ou menos satisfatórios na incorporação. A Figura 7 ilustra o ciclo de moagem pelo qual o pneu inservível passa.

Figura 7: Ciclo de moagem de pneus



FONTE: Granzotto (2010)

Ozbay et al. (2010) afirmam que para utilização do resíduo de borracha em materiais à base de cimento, os resíduos podem ser reciclados nas seguintes granulometrias:

- Entre 13mm e 76mm - partículas de borracha de pneu em lascas, funcionando como agregado graúdo.
- Entre 0,075mm e 4,75mm - partículas de borracha de pneu em migalha, funcionando como agregado miúdo.
- partículas finas de borracha (tamanho variando entre 0,15 mm e 1,9 mm).

A granulometria do resíduo de borracha de pneu e a escolha por qual agregado natural substituirá depende das características e desempenho que se deseja obter do concreto, pois os tamanhos das partículas influenciam diretamente nas características e propriedades da mistura, como resistência ao impacto, resistência mecânica, ductilidade e trabalhabilidade, dentre outros.

A Associação dos Fabricantes de Borracha Norte Americana (RMA), possui um inventário com diversos trabalhos e pesquisas publicados, referente às aplicações de borracha reciclada de pneus inservíveis no campo da engenharia civil, onde são relatadas experiências com o uso de diferentes quantidades e tamanhos de agregado de borracha de pneu.

A utilização do resíduo de borracha de pneu é regularizada por norma desde 1998, quando foi aprovada pela ASTM – American Society for testing and Materials, a norma prática que rege a utilização de pneus inservíveis na construção civil (ASTM D 6270-98). A aprovação dessa norma abriu espaço para a realização de estudos e utilização desse resíduo na área da construção civil.

De acordo com o SNIC (2017), a aplicação de resíduos de pneus em obras representa uma economia de 30%, quando aplicados em locais onde são necessário amortecimento de vibrações e com resistência ao impacto como fachadas e calçadas e lugares com contato a umidade como pontes, diques e paredes de retenção.

Diversos estudos têm sido realizados para avaliar a trabalhabilidade do concreto incorporado com borracha por meio do slump da mistura. Em geral,

observa-se uma redução significativa de trabalhabilidade (slump) com o aumento do teor de agregado de borracha na mistura (NAJIM & HALL, 2010).

O concreto com borracha também possui maior ductilidade do que o concreto simples, já que as taxas de deformação mais elevadas permitem maior deformação plástica antes do ponto de ruptura (SNELSON et al., 2009).

Outro fator determinante é o teor de resíduo incorporado, que está diretamente ligado a redução da resistência mecânica, de maneira que é necessário analisar para determinada finalidade, qual percentual permite que a mistura atinja as especificações das normas técnicas.

As pesquisas mostram que a adição de borracha ao concreto diminui sua resistência mecânica à compressão, mas pode aumentar sua capacidade de deformação. Em função dos resíduos de borracha serem um material altamente elástico, consegue-se reduzir a propagação de fissuras do elemento estrutural (FAZZAN, 2011).

Eiras et al. (2014) analisaram as propriedades mecânicas do concreto com 40, 50 e 60% de substituição do volume de areia por borracha e conclui em seus estudos que a adição de borracha no concreto modifica as propriedades mecânicas, reduzindo a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. Porém, mesmo com a redução na resistência mecânica, segundo o autor, foi possível alcançar a resistência mínima requisitada em norma, para aplicação em unidades de alvenaria, concluindo em sua pesquisa que o concreto incorporado com borracha eram uma alternativa viável para construções onde as propriedades acústicas e térmicas são necessárias

De maneira 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.

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.

A borracha, devido a algumas propriedades, pode ser considerada como um agregado leve, podendo ser utilizada para fabricação de concreto leve, que apresenta larga aplicação no mercado da construção civil (GOMES FILHO, 2007). O que difere o concreto leve dos demais é a sua massa específica reduzida, que é obtida justamente com a substituição dos agregados tradicionais por agregados leves como o resíduo de borracha de pneu.

O concreto leve, ou concreto com agregados leves, apresenta-se como um material de construção consagrado em todo o mundo, com aplicação em diversas áreas da construção civil, por exemplo, edificações pré-fabricadas, pontes e plataformas marítimas. Além da redução da massa específica, outras alterações significativas ocorrem nas propriedades, em especial a trabalhabilidade, resistência mecânica, módulo de deformação, durabilidade, condutividade térmica, estabilidade dimensional, resistência a altas temperaturas e espessura da zona da transição entre o agregado e a pasta de cimento. O conhecimento destas modificações é de grande importância para a sua correta utilização (ROSSIGNOLO, 2009).

Pesquisas realizadas com resíduo de borracha em pó, tem confirmado a viabilidade da incorporação desse resíduo nas misturas de concreto para as mais diversas aplicações. Este trabalho propõe um estudo das propriedades mecânicas e microestruturais do concreto não estrutural com adição de resíduo de borracha em pó.

2.5 Pesquisas Relacionadas

Diversas são as aplicações possíveis para a reciclagem do resíduo gerado pela indústria de pneus, e muitas são as pesquisas desenvolvidas no intuito de se determinar a viabilidade de sua utilização no setor de construção civil, de maneira que já existem vários trabalhos publicados que tem em comum o estudo da aplicação do resíduo de borracha em concretos, argamassas, pavimentos, blocos de concreto, dentre outros.

Os estudos citados a seguir são referências que salientam e ressaltam a viabilidade da utilização da borracha de pneu para produção de concreto, em alguns casos optando-se pela adição de outro resíduo concomitantemente, para melhorar as propriedades da mistura, contornando a redução da resistência a compressão que a incorporação do resíduo de borracha provoca na mistura, por exemplo.

Fioriti et al. (2010) concluíram através dos 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.

Segundo Canova et al. (2007), a argamassa com resíduo de borracha apresentou menor incidência de fissuras no revestimento, ao mesmo tempo que obteve maior teor de ar incorporado e redução no módulo de elasticidade.

Granzotto & Souza (2013) concluíram que quanto maior a quantidade de resíduo de borracha incorporado ao concreto, menor será a massa específica aparente, onde o concreto sem resíduo tem massa específica média de 2.420 kg/m³, enquanto no concreto com teor de 15% de resíduo de borracha em substituição da areia, a massa específica média é de 2.239 kg/m³. Verificou-se que após a incorporação da borracha de pneu ao concreto, a resistência à compressão reduziu em função da quantidade incorporada, ou seja, substituindo a areia por borracha, nas proporções de 5%, 10% e 15%, os resultados apresentaram redução na resistência à compressão de 12,6%, 39,0% e 45,8%, respectivamente.

Probst (2011) analisou a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu para a produção de concretos. Foram analisados a substituição da areia natural nos teores de 5, 10 e 15%. Ensaio de resistência a compressão axial e módulo de elasticidade estático foram realizados para comprovar a eficácia da adição. As resistências da mistura foram avaliadas nas idades de 1, 7, 14 e 28 dias. De acordo com os resultados obtidos por Probst, comprovou-se que a substituição de 5% de borracha obteve a resistência à compressão aos 28 dias com o módulo de elasticidade em um

valor viável. Para os percentuais de 10 e 15% a resistência à compressão não atendeu aos limites mínimos de acordo com a norma técnica NBR 6118:2003, que regeu os ensaios.

Fazzan (2011) fez uso do resíduo de pneu no concreto para aplicação em capeamento de lajes treliçadas. Constatou-se que o concreto com incorporação de 10% de resíduo de pneu proporcionou uma redução de 19% no peso específico da mistura se comparado com o traço de controle em concreto convencional. Ainda segundo o autor, de acordo com o ensaio de absorção conclui-se que os concretos com adição da borracha sofrem redução do parâmetro de absorção.

Selung et al. (2013) fabricaram blocos de concreto com substituição parcial de brita por resíduos de borracha nos teores de 15%, 25% e 35%, em massa, averiguaram uma disposição de aumento da absorção, enquanto ocorria redução da resistência à compressão dos blocos, com o aumento da proporção de resíduo de borracha no traço de concreto. Segundo os resultados obtidos, somente no traço com substituição de 15% de borracha a resistência característica dos blocos de concreto atenderam o valor mínimo da NBR 6136/2007.

Ao analisar o problema da redução da resistência à compressão, Pelisser et al., (2011) averiguaram que a redução de resistência à compressão em decorrência da substituição em massa de areia por 10% de resíduo de borracha de pneu inservível, pode ser integralmente revertido com a inclusão de 15% de sílica ativa. Com essa adição, foi possível otimizar o consumo de cimento, o que além de proporcionar redução nos custos de produção, também reduz os impactos ambientais causados pela construção civil uma vez que a produção de cimento é responsável por diversos impactos ao meio ambiente.

Pelisser et al. (2012) analisaram a utilização de borracha de pneu inservível incorporado a argamassa para aplicação em painel de fachada, optando-se pelo estudo em argamassas ao invés de concreto para possibilitar a produção de placas mais finas. Como a adição de borracha a mistura é responsável pela redução da resistência à compressão, para contrabalancear esse efeito, foi incorporado 10% de metacaulim em substituição do cimento

Portland, tornando viável a fabricação das placas. Os resultados obtidos para resistências à compressão foram superiores a 20 MPa.

Segundo Pelisser et al. (2012), o uso de borracha de pneu e metacaulim em argamassa ou concreto leve, auxilia na redução do uso de recursos naturais como matéria prima, contribuindo para a reciclagem de material e proporcionando a produção de um material que possui maior eficiência térmica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa estão listados a seguir e ilustrados na Figura 8.

- Resíduo de borracha de pneu inservível (RBP) – Fornecido pela empresa LBFlex Borrachas, localizada em Campina Grande-PB;
- Cimento: CP II Z 32 – Cimento Portland composto com adição de pozolana;
- Agregado miúdo: areia quartzosa proveniente do Rio Paraíba;
- Agregados graúdos: britas convencionais;

Brita “25” : Brita graduada, com diâmetro máximo de 25 mm;

Brita “9,5” : Também conhecida como “cascalhinho”, difere da brita citada acima na granulometria, seu diâmetro máximo é de 9,5mm;

- Água – Água própria para consumo humano, fornecida pela CAGEPA – Companhia de Águas do estado da Paraíba.

Figura 8: Materiais utilizados na fabricação do concreto: a) Brita 25mm; b) Areia Média; c) Cimento; d) Brita 9,5m; e) Resíduo de borracha

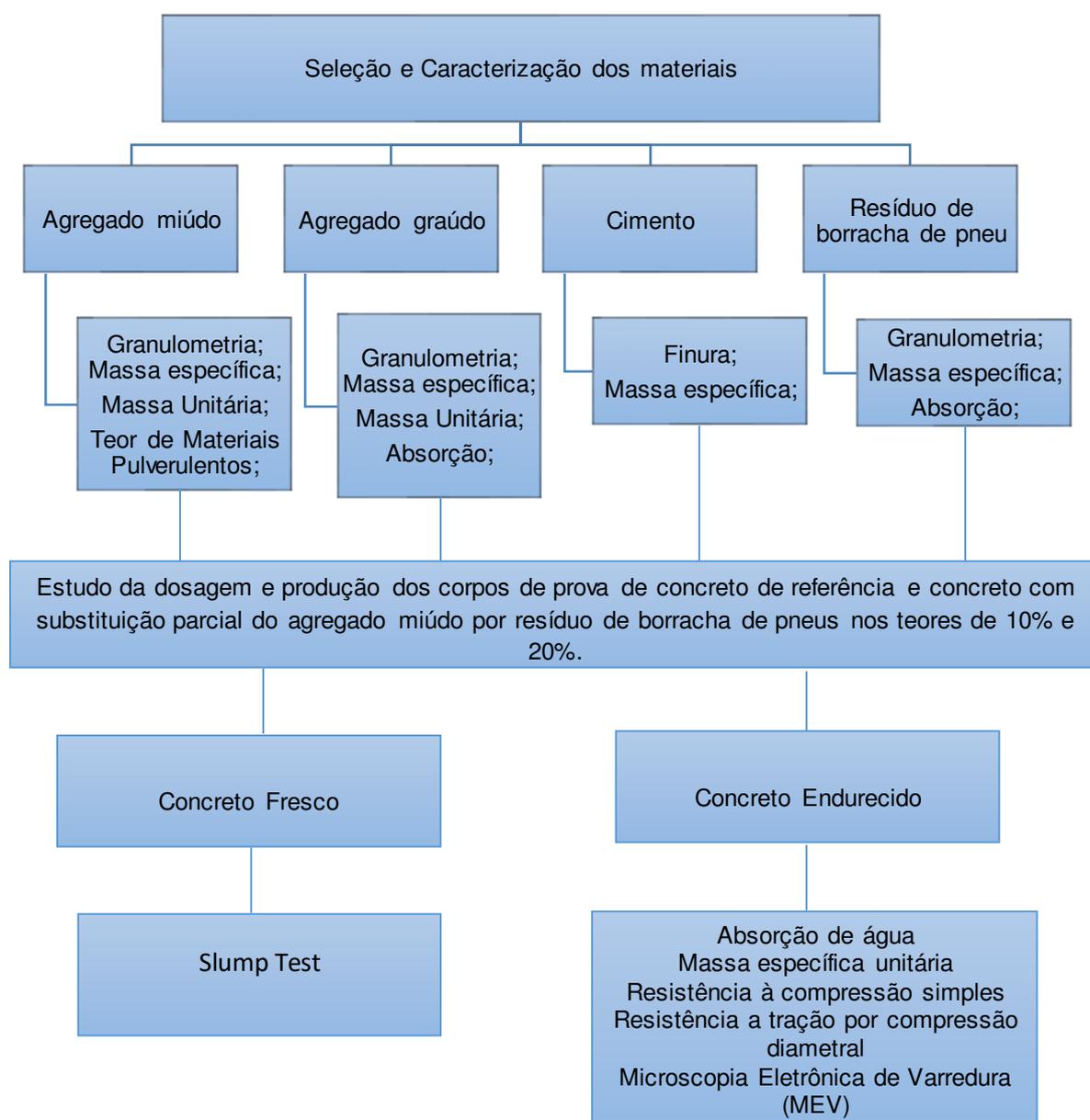


FONTE: Dados de pesquisa (2018)

3.2 Métodos

A Figura 9 ilustra o fluxograma das etapas da pesquisa, atividades e ensaios realizados.

Figura 9: Fluxograma das etapas da pesquisa



FONTE: Autoria própria (2017)

3.2.1 Caracterização Física dos Agregados, Cimento e do Resíduo de Borracha de Pneu

3.2.1.1 Análise granulométrica

Através do ensaio de granulometria é determinado a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de distribuição granulométrica que mostra o porcentual de material passante na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

O ensaio de composição granulométrica para o agregado graúdo e agregado miúdo foi realizado segundo o método de ensaio da NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo os agregados classificados de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2011).

3.2.1.2 Determinação da Massa Específica

Têm-se como massa específica do agregado a relação entre sua massa e o seu volume, sem considerar os vazios permeáveis da água. Tal parâmetro é relevante no cálculo das estimativas de consumo dos materiais a serem determinados no traço de concreto.

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada por meio do frasco de Chapman, segundo a norma NBR NM 52 (ABNT, 2009). Para o agregado graúdo a determinação da massa específica foi obtida utilizando-se a norma NBR NM 53 (ABNT, 2009) e para o cimento, o ensaio foi realizado seguindo a norma DNER – ME 085/1994.

3.2.1.3 Determinação da Massa Unitária

A massa unitária do agregado no estado solto é a razão entre a massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente. O objetivo principal do ensaio é verificar a massa unitária do agregado miúdo, incluindo os vazios, e umidade que existem entre os grãos, e determinar sua utilização no traço de concreto. Com essa determinação podem ser feitas transformações dos traços de massa para volume durante o procedimento de dosagem.

O ensaio foi realizado com o agregado miúdo segundo o método de ensaio NBR 7251 (ABNT, 1982)

3.2.1.4 Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos

Os materiais pulverulentos são partículas minerais que passam na peneira de malha de nº 200 com abertura de 75µm, inclusive os materiais solúveis em água, presente nos agregados. O objetivo do ensaio é a determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados destinados ao preparo de concreto, sendo realizado de acordo com a norma NBR 7219 (ABNT, 1987).

3.2.1.5 Ensaio de Finura

É a determinação da porcentagem, em massa, de cimento Portland cujas dimensões de grãos são superiores a 75 µm através do método de peneiramento manual de acordo com a norma NBR 11579 (ABNT, 2012).

Esse ensaio é bastante relevante, pois quando o valor da finura do cimento é elevado, indica que ocorreu hidratação do cimento e conseqüentemente, perda de suas características. Quanto mais fino for o cimento melhor será a sua reação de hidratação e a resistência mecânica do concreto.

3.2.1.6 Absorção

É o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de um líquido em seus poros permeáveis, em relação a sua massa no estado seco. A determinação da absorção dos agregados graúdos foi realizada segundo o método de ensaio NBR NM 53 (ABNT, 2009). Dependendo do valor da absorção pode ser feito o reajuste nos cálculos da relação água/cimento dos traços de concreto.

3.2.2 Estudo da Dosagem do Concreto

Após caracterização dos materiais foi realizado o estudo da dosagem do concreto de acordo com a metodologia da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, sendo estabelecido F_{ck} de 20MPa para resistência aos 28 dias de cura. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 10 x 20 (cm) com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneus inservível nos teores de 10% e 20%, sendo estabelecidas as idades de cura de 7, 14, 21 e 28 dias. De acordo com a caracterização dos materiais, obteve-se o traço 1:2:3,14 e fator água/cimento: fa/c:0,58.

A Tabela 1 apresenta o programa experimental com o esquema do quantitativo dos corpos de prova moldados, número de dosagens e ensaios realizados na pesquisa.

Tabela 1: Programa experimental

RESÍDUO DE PNEUS (%)	Nº DE DOSAGENS PRODUZIDAS	ENSAIOS REALIZADOS POR DOSAGEM	Nº DE CP'S ENSAIADOS			
			7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
0	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
10	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
20	1	Compressão	2	2	2	2
		Tração	2	2	2	2
Total	3		48			

FONTE Dados de pesquisa (2018)

A proporção do agregado graúdo foi determinado de acordo com a norma ABNT NBR 7810 (ABNT,1983), de modo que para as britas 25 e brita 9,5 entre as proporções 70/30,50/50 e 60/40, utilizou-se a proporção 60% de Brita 25 e 40% de Brita 9,5, pois apresentou a maior massa unitária compactada.

A Tabela 2 apresenta o proporcionamento dos materiais utilizados para produção dos corpos de prova para o concreto de referência (CREF), o concreto com 10% de incorporação de resíduo de borracha de pneu (CRBP10), e o concreto com 20% de incorporação de resíduo de borracha de pneu (CRBP20).

Tabela 2: Proporção dos materiais utilizados para produção de todos os corpos de prova

Materiais	CREF	CRBP10	CRBP20
Cimento	10,8kg	10,8kg	10,8kg
Resíduo de Borracha de pneu	0,0kg	2,16kg	4,32kg
Agregado Miúdo	21,60 kg	19,44 kg	17,28 kg
Agregado Graúdo	33,94kg	33,94kg	33,94kg
Brita 25	20,36kg	20,36kg	20,36kg
Brita 9,5	13,58kg	13,58kg	13,58kg

FONTE: Dados de pesquisa (2018)

A homogeneização dos materiais foi realizada in loco (betoneira), com abatimento do tronco do cone de 40-60 mm, utilizando o controle de qualidade razoável e resistência requerida de 20MPa.

Após executar o traço do concreto, foi avaliada a trabalhabilidade da mistura utilizando o “slump test” ou ensaio de abatimento do troco de cone. Os concretos incorporados com borracha nos teores de 10% e 20% apresentaram abatimento inferior ao desejado, sendo necessário acrescentar água à mistura, modificando assim o fator a/c. O acréscimo de água foi realizado aos poucos, até se atingir o abatimento dentre os valores estabelecidos. Desta forma, o fator água/cimento para o CRBP10 e CRBP20 foram alterados para 0,67 e 0,70, respectivamente.

Esse acréscimo de água se deve à alta absorção da borracha, que interfere na reação do cimento e no ganho da trabalhabilidade do concreto.

3.2.3 Determinação das Propriedades do Concreto Fresco - Ensaio de Consistência do Concreto

Ensaio de Consistência do Concreto – Slump Test

O ensaio de abatimento do concreto é um dos parâmetros mais importantes na dosagem do concreto experimental, pois através deste é ajustada a quantidade de água a ser adicionada a mistura de modo a garantir uma trabalhabilidade constante para os concretos ensaiados. O slump test foi realizado de acordo com a norma técnica NBR 7223 (ABNT, 1992). No ensaio, o concreto foi dividido em três camadas individuais compactadas com 25 golpes

de haste cada, em um tronco de cone com altura de 30cm. Após compactar as três camadas, removeu-se o excesso de concreto e fez-se a retirada do tronco de cone lentamente. A Figura 10 ilustra o ensaio de Slump Test realizado para determinação da consistência do concreto em estudo.

Figura 10: Ensaio de Slump Test



FONTE: Dados da Pesquisa (2018)

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de Slump Test para o concreto em estudo, após a correção do fator água/cimento para os concreto CRBP10 e CRBP20.

Tabela 3: Resultados obtidos para o ensaio de Slump Test para o concreto em estudo

Slump	CREF	CRBP10	CRBP20
Test	5,0 cm	4,5cm	4,0cm

FONTE: Dados da Pesquisa (2018)

3.2.4 Moldagem dos Corpos de Prova

Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10 x 20 (cm) com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de pneu nos percentuais de 10% e 20%. A Figura 11 ilustra os corpos de prova de concreto após a moldagem.

Figura 11: Corpos de prova de concreto após a moldagem



FONTE: Dados da Pesquisa (2018)

3.2.5 Processo de Cura do Concreto

Para este estudo foi utilizada cura imersa, onde os corpos de prova permaneceram imersos em água por períodos de 7, 14, 21 e 28 dias. A Figura 12 ilustra o processo de cura dos corpos de prova utilizados neste estudo.

Figura 12: Processo de cura dos corpos de prova utilizados neste estudo



FONTE: Dados de pesquisa (2018)

3.2.6 Determinação das Propriedades Físicas, Mecânicas e Microestruturais do Concreto Incorporado com Resíduo de Borracha de Pneu

3.2.6.1 Determinação de Absorção de Água

Neste ensaio foi determinado o aumento de massa ocorrido nos corpos de prova de concreto, decorrente da penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa seca. A determinação da absorção dos corpos de prova foi realizada segundo o método de ensaio NBR NM 53 (ABNT, 2009).

Sendo a água um dos principais agentes de degradação do concreto, os concretos com menores taxas de absorção provavelmente apresentarão maior durabilidade. A Figura 13 ilustra o processo de realização do ensaio de absorção de água.

Figura 13: Processo de realização do ensaio de absorção de água



FONTE: Dados de pesquisa (2018).

Para realização do ensaio de absorção foram utilizados fragmentos dos corpos de prova após determinação da resistência a compressão simples. Conforme preconiza a norma NBR NM 53 (ABNT, 2009), pode-se utilizar o corpo de prova que se apresentar com 70% de peça inteira após ruptura para realização do ensaio.

3.2.6.2 Massa Específica dos Corpos de Prova de Concreto

Neste ensaio foi verificada a massa específica dos corpos de prova de concreto, onde determinou-se a razão entre a massa e o volume para as substituições do agregado miúdo por resíduo de pneus nos percentuais de 10% e 20%. A Figura 14 ilustra o procedimento de determinação da massa específica.

Figura 14: Procedimento de determinação da massa específica



FONTE: Dados de pesquisa (2018)

3.2.6.3 Resistência à Compressão Simples

É a medida da resistência aos esforços de compressão, suportado por uma peça ou superfície. A resistência à compressão simples, denominada f_c , é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008), os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007).

A Figura 15 ilustra a realização do ensaio de resistência à compressão simples dos corpos de prova do concreto em estudo.

Figura 15: Resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.6.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Através do ensaio de compressão diametral ou ensaio de tração indireta, também conhecido como teste brasileiro, é medida a resistência de uma substância sólida, por meio da aplicação de cargas concentradas de compressão diametralmente. No ensaio o corpo de prova é colocado com o eixo horizontal entre as prensas do equipamento, e é aplicada uma força até que ocorra sua ruptura por fendilhamento. O ensaio de tração por compressão diametral é normatizado pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011). A Figura 16 ilustra a realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral do concreto em estudo.

Figura 16: Resistência à tração por compressão diametral do concreto em estudo



FONTE: Dados da Pesquisa (2018)

Os ensaios de caracterização física e mecânica do concreto em estudo foram realizados nos Laboratórios de Solos II e de Engenharia de Pavimentos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.6.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O ensaio de microscopia eletrônica de varredura permite observar a estrutura interna do material estudado, permitindo compreender as propriedades físicas e mecânicas obtidas. Foram realizados ensaios de microscopia eletrônica de varredura para o CREF, CRBP10 e CRBP20 na idade de cura de 28 dias.

As amostras foram fixadas em uma porta amostra de alumínio utilizando fita adesiva apropriada e colocadas em um aparelho metalizador para recobri-las com ouro durante 120s. As microfotografias das amostras foram obtidas pelo microscópio eletrônico de varredura marca Tescan, modelo Vega 3.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica (LMEV) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande.

A Figura 17 ilustra a realização do ensaio de microscopia eletrônica de varredura.

Figura 17: Ensaio de microscopia eletrônica de varredura



FONTE: Dados da Pesquisa (2018)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização Física dos Materiais

4.1.1 Caracterização Física do Agregado Graúdo

Optou-se por utilizar na pesquisa dois tipos de brita de origem granítica como agregados graúdos, a brita 25mm e a brita 9,5 mm, também conhecida como “cascalhinho”. A mistura de agregados com dimensões diferentes, proporciona uma mistura mais homogênea, com menor índice de vazios e dispersão entre agregado e pasta de cimento. A proporção adotada foi de 60% de brita com dimensão máxima de 25mm e 40% de brita com dimensão máxima de 9,5mm, após realizar o método de ensaio da norma NBR 7810 (ABNT,1983), para as proporções 70/30, 50/50 e 60/40, sendo escolhida à proporção que apresentou o maior resultado para a massa unitária compactada. Os resultados da caracterização física estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização física do agregado graúdo

Ensaio	Valores Obtidos	
	Brita 25	Brita 9,5
Massa Específica Aparente NBR NM 53 (ABNT, 2009)	$\gamma_a = 1,53 \text{ g/cm}^3$	$\gamma_a = 1,43 \text{ g/cm}^3$
Massa Específica Real NBR NM 53 (ABNT, 2009)	$\gamma = 2,69 \text{ g/cm}^3$	$\gamma = 2,68 \text{ g/cm}^3$
Absorção NBR NM 53 (ABNT, 2009)	$A_{bs} = 0,3\%$	$A_{bs} = 0,5\%$

De acordo com os resultados exibidos na Tabela 4, verifica-se que o agregado graúdo apresentou valor de massa específica igual a $2,69 \text{ g/cm}^3$ e $2,68 \text{ g/cm}^3$, com absorção de 0,3% e 0,5%, respectivamente. Segundo Bauer (1995), a massa específica do agregado graúdo é em média $2,7 \text{ g/cm}^3$, de modo que o valor obtido na pesquisa se enquadra nessa especificação. Segundo Chagas Filho (2013), o valor da absorção de agregados de origem granítica é de aproximadamente 0,3%, de modo que os resultados obtidos foram satisfatórios.

A composição granulométrica dos agregados, tendo em vista que a dimensão dos agregados incorporados à mistura, influenciam diretamente suas

propriedades, tal como a trabalhabilidade, foram analisadas para garantir que os agregados estejam de acordo com a norma. A especificação dos limites granulométricos e da dimensão máxima dos agregados é normatizado pela ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Foram analisadas amostras de agregado graúdo, miúdo e do resíduo de borracha de pneus. A massa de agregado miúdo coletada para o ensaio foi de 1000g, e de 3000g e 5000g para as britas 9,5 e 25mm, respectivamente.

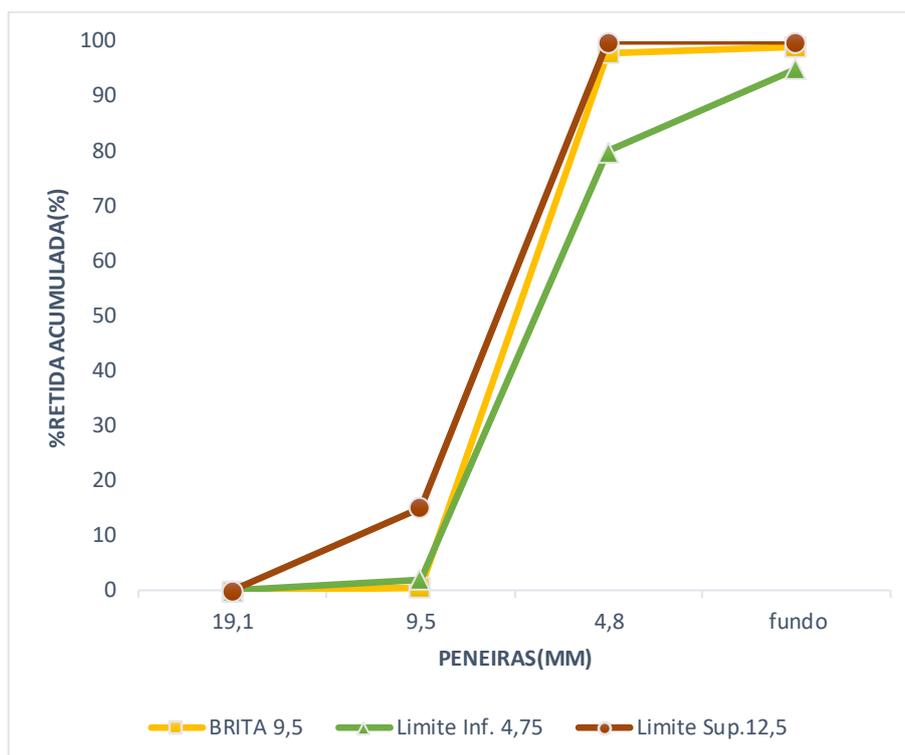
A distribuição do tamanho dos grãos da brita 9,5 está especificada na Tabela 5.

Tabela 5: Composição Granulométrica da brita 9,5 mm

Composição granulométrica do agregado graúdo e dos valores referenciados de acordo com as normas NBR 7211(ABNT,2009) e NBR NM 248 (ABNT,2003).					
Peneiras	Material retido	Porcentagem em massa (%)		Limite Inferior (%)	Limite Superior (%)
(mm)	(g)	Retida	Acumulada		
9,5	18,9	0,63	0,63	80	100
4,80	2919,2	97,31	97,94	95	100
<4,8 (Fundo)	61	2,03	99,97		
Soma	2999,1	100,00			
Módulo de finura Diâmetro máximo			5,98 9,5 mm		

A Figura 18 ilustra a curva granulométrica obtida para o brita 9,5mm, a seguir.

Figura 18: Curva granulométrica do agregado graúdo natural (Brita 9,5 mm)



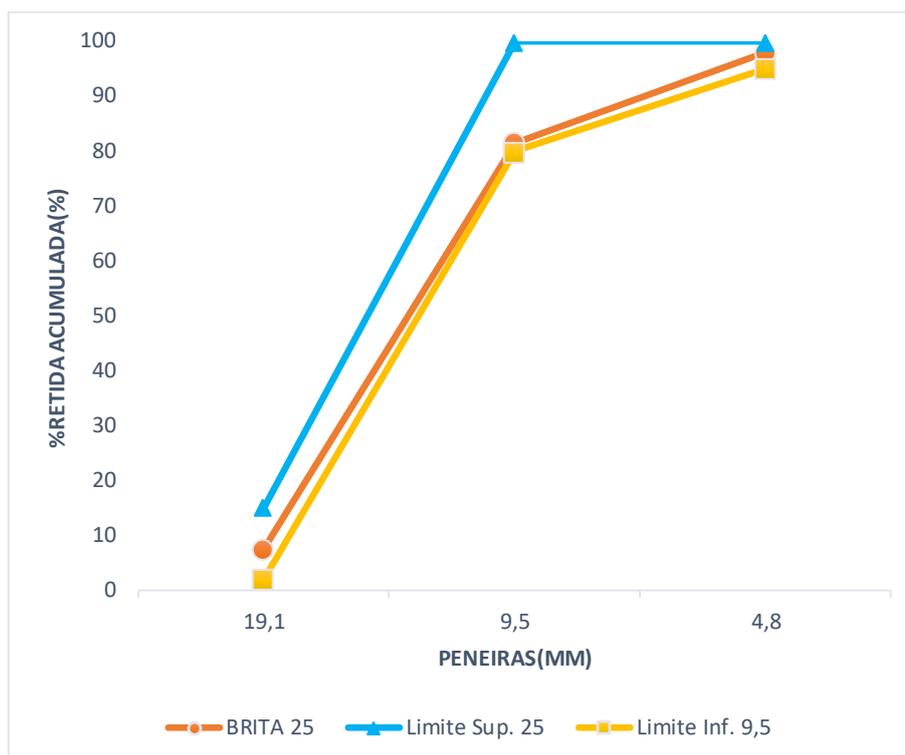
A distribuição do tamanho dos grãos da brita 25mm está especificada nas Tabela 6.

Tabela 6: Composição Granulométrica da brita 25mm

Composição granulométrica do agregado graúdo e dos valores referenciados de acordo com as normas ABNT NBR 7211(ABNT,2009) e NBR NM 248 (ABNT,2003).					
Peneiras	Material retido (g)	Porcentagem em massa (%)		Limite Inferior (%)	Limite Superior (%)
(mm)		Retida	Acumulada		
19,1	377,06	7,54	7,54	2	15
9,5	3702,6	74,05	81,59	80	100
4,8	819,2	16,38	97,98	95	100
<4,8(Fundo)	101,2	2,02	100,00		
Soma	5000	100,00			
Módulo de finura			6,87		
Diâmetro máximo			25mm		

Pode-se observar na Figura 19 a curva granulométrica para a brita 25mm.

Figura 19: Curva granulométrica do agregado graúdo natural (Brita 25mm)



De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5 e 6, tem-se para a brita 9,5mm e 25mm, um módulo de finura de 5,98 e de 6,87 e a maior parte das partículas retidas nas malhas 4,8 e 9,5mm, respectivamente. Os agregados são classificados de acordo com sua granulometria como brita 0, com dimensão máxima característica (DMC) de 9,5mm e como brita 2, com dimensão máxima característica (DMC) de 25mm, segundo a NBR 7211(ABNT 2009).

As curvas granulométricas indicam que as britas utilizadas na pesquisa, se enquadram nos limites propostos pela NBR 7211(ABNT,2009), tendo a brita de granulometria inferior mais de 95% de material retido na malha 4,8mm, podendo ser caracterizada então como brita 0.

4.1.2 Caracterização Física do Agregado Miúdo

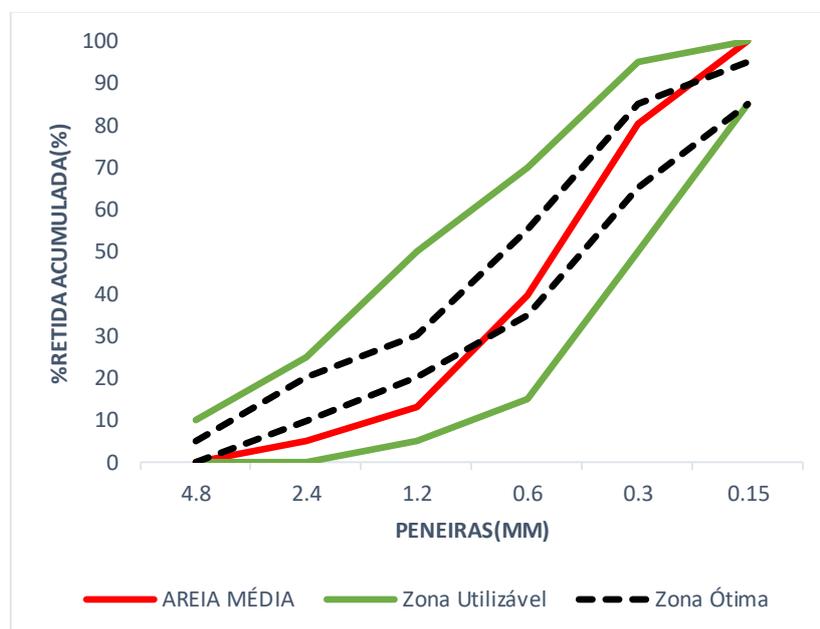
Os resultados obtidos no ensaio de granulometria para o agregado miúdo estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Composição granulométrica do agregado miúdo

Composição granulométrica (ABNT NBR 248:2003)			
Peneiras (mm)	Material retido (g)	Porcentagem em massa (%)	
		Retida	Acumulada
2,4	52,6	5,26	5,26
1,2	79,4	7,94	13,2
0,6	264,3	26,43	39,63
0,3	408,3	40,83	80,46
0,15	170,8	17,08	97,54
Fundo	24,4	2,46	99,98
Soma	999,80	100	-
Módulo de finura		2,37	
Diâmetro máximo		2,36 mm	

A curva granulométrica para o agregado miúdo, com os limites para zona ótima e zona utilizável estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009), está ilustrada na Figura 20.

Figura 20: Curva granulométrica para o agregado miúdo natural



De acordo com a norma da NBR 7211 (ABNT, 2009), verifica-se que o resultado obtido para o módulo de finura, o valor de 2,37%, se encontra dentro da zona ótima de utilização na qual o módulo de finura pode variar de 2,20 a 2,90%. E, portanto, é classificado como areia de granulometria média, pois este valor encontra-se dentro do intervalo de $2,4 < MF < 3,2$. O diâmetro máximo

obtido para este agregado é 2,36mm. De acordo com os valores obtidos, essa areia é considerada bem graduada, favorecendo sua utilização em concreto, por promover melhor trabalhabilidade e pequena quantidade de vazios entre os grãos.

Conforme se observa na curva granulométrica ilustrada na Figura 20, o agregado miúdo se encontra dentro dos limites da zona utilizável, tratando-se de uma areia bem graduada.

A composição granulométrica do agregado miúdo desempenha papel fundamental na preparação de concretos e argamassas. As dimensões do agregado têm efeito direto sobre os vazios, no fator água/cimento e na trabalhabilidade das misturas de concreto.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados obtidos para caracterização física do agregado miúdo, seguindo as prescrições estabelecidas pelas normas da ABNT.

Tabela 8: Caracterização física do agregado miúdo

Ensaio	Valor obtido
Massa Específica Real NBR NM 52 (ABNT,2009)	2,59g/cm ³
Massa Unitária no Estado Solto NBR 7251 (ABNT,1982)	1,50g/cm ³
Teor de Materiais Pulverulentos NBR 7219 (ABNT,1987)	0,07%

Analisando os resultados apresentados na Tabela 8, para massa específica, obteve-se o valor de 2,59g/cm³ e para massa unitária, o valor de 1,50g/cm³, similar aos valores encontrados por Bravo (2014).

A determinação da massa unitária foi realizada de acordo com a norma NBR 7251(ABNT,1982). Por esse parâmetro se relacionar diretamente com o índice de vazios do agregado, é um dado ao qual deve se ter um cuidado especial pela importância na determinação da dosagem do concreto.

4.1.3 Caracterização do Resíduo de Borracha de Pneu (RBP)

A borracha foi utilizada conforme recebida do fornecedor, não sendo realizado nenhum tratamento que pudesse alterar suas propriedades, como ilustra a Figura 21. O resíduo foi caracterizado segundo sua composição granulométrica de acordo com a NBR NM 248 (ABNT,2003) e posteriormente classificada de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT,2009).

Figura 21: Resíduo de borracha de pneu

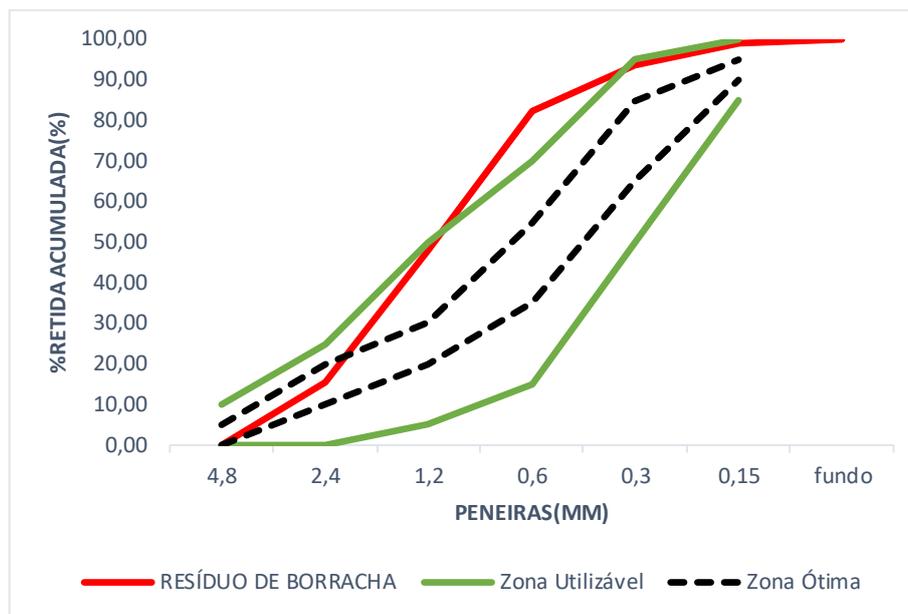


A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para a composição granulométrica e a Figura 22 ilustra a curva granulométrica de acordo com os limites estabelecidos pela norma NBR 7211 (ABNT,2009), para o resíduo de borracha de pneus.

Tabela 9: Composição granulométrica para o resíduo de borracha de pneus

Peneiras (mm)	Material retido (g)	Porcentagem em massa (%)	
		Retida	Acumulada
2,4	156,99	15,70	15,70
1,2	323,13	32,31	48,01
0,6	342,55	34,26	82,27
0,3	115,53	11,55	93,82
0,15	54,36	5,44	99,26
Fundo	7,44	0,74	100,00
Soma	1000	100	-
Módulo de finura		3,39	
Diâmetro máximo		2,36 mm	

Figura 22: Curva granulométrica para o resíduo de borracha de pneus



De acordo com a Tabela 9, observa-se que 15% do RBP foi retido na peneira com abertura de 2,4mm, fração que seria considerada como uma borracha grossa, apresentando, a maior parte de sua composição com partículas com dimensão de média à fina. O módulo de finura para o resíduo de borracha se enquadra no limite superior estabelecido para agregados miúdos naturais conforme NBR 7211 (ABNT, 2009), que varia de 2,9 a 3,5. A diferença entre o módulo de finura do agregado miúdo convencional e do resíduo de borracha de pneus se deve a diferenças na distribuição granulométrica, no formato do grão e na textura dos materiais.

Com o intuito de aproveitar ao máximo o resíduo de borracha de pneus sem nenhum tipo de seleção após a moagem pelo fornecedor, optou-se por utilizar o material em todas as dimensões abrangentes na sua composição granulométrica.

Observa-se que na curva granulométrica para o resíduo de borracha, aproximadamente 20% do resíduo se encaixa na zona ótima e mais de 50% se encaixa na zona utilizável estabelecidas pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados obtidos para caracterização do resíduo de borracha de pneu, seguindo as prescrições estabelecidas pelas normas da ABNT.

Tabela 10: Caracterização física do resíduo de borracha de pneus

Ensaio	Valor obtido
Massa Específica Real NBR NM 52 (ABNT,2009)	0,67g/cm ³
Absorção NBR NM 53 (ABNT,2009)	A _{bs} =52%

Conforme resultados obtidos na Tabela 10, verifica-se que a absorção da borracha de pneus utilizada neste estudo é consideravelmente superior a absorção obtida para os agregados naturais, o que influencia diretamente no desempenho da mistura, principalmente no fator água/cimento.

4.1.4 Caracterização Física do Cimento Portland

O cimento Portland utilizado na pesquisa foi o CP II – Z 32 MPa, que contém material pozolânico, formado pela cinza de usinas térmicas, tornando-o menos permeável.

Foram executados os ensaios de finura e massa específica para caracterização do aglomerante, de acordo com a NBR 11579 (ABNT, 2012) e DNER ME 085:1994, respectivamente.

A determinação da finura do cimento é bastante relevante, pois valores elevados de finura indicam que houve hidratação do cimento e perda de suas características. No geral, quanto maior a finura do cimento maior será a cinética das reações de hidratação e mais rápido ocorre o ganho a resistência mecânica de concretos e argamassas.

Os valores obtidos para massa específica e finura do cimento utilizado no estudo se encontra na Tabela 11.

Ensaio	Valor obtido
Massa Específica Real DNER ME 085:1994	2,91 g/cm ³
Finura NBR 11579 (ABNT, 2012)	2,84%

De acordo com a NBR 11579 (ABNT,2012), o valor limite para finura do cimento é de 12%, de modo que o resultado obtido atende ao limite estabelecido.

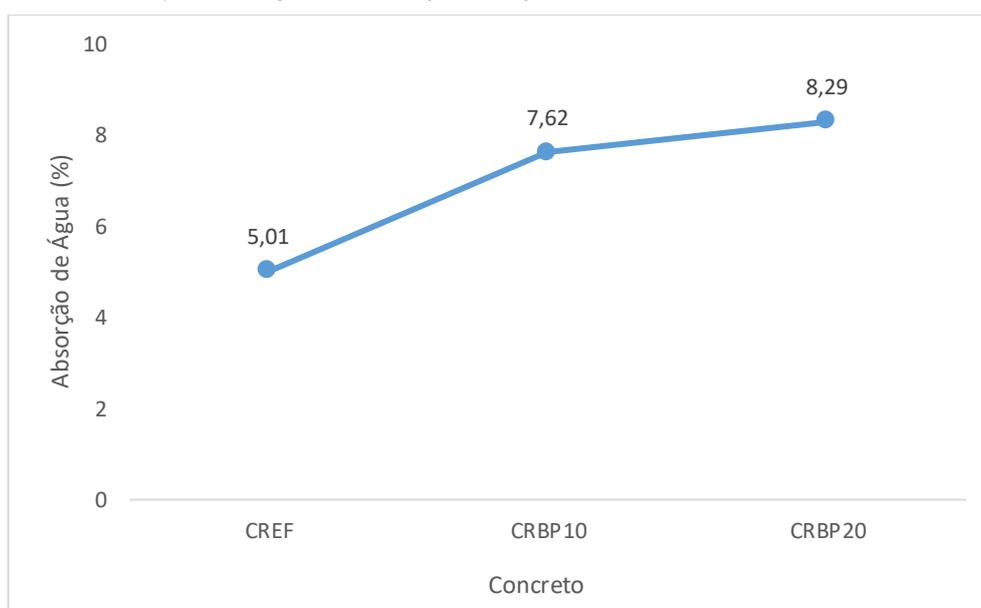
As massas específicas para os cimentos produzidos no Brasil apresentam valores compreendidos entre o intervalo de 2,90 a 3,20g/cm³, o valor obtido para pesquisa se encontra nesse intervalo.

4.1.5 Caracterização Física do Concreto em Estudo

4.1.5.1 Determinação da Absorção de Água

A Figura 23 ilustra os resultados obtidos para a absorção de água dos corpos de prova de concreto em estudo aos 28 dias.

Figura 23: Absorção de água dos corpos de prova de concreto em estudo aos 28 dias



Conforme os resultados obtidos, verifica-se que houve aumento na absorção de água com o aumento do teor de substituição do agregado miúdo (areia quartzosa) por RBP. Para idade de cura de 28 dias, o concreto com teor de 10% do resíduo apresentou aumento de 50% da absorção, enquanto que para o teor de 20% apresentou aumento de 65% da absorção, em relação ao concreto de referência.

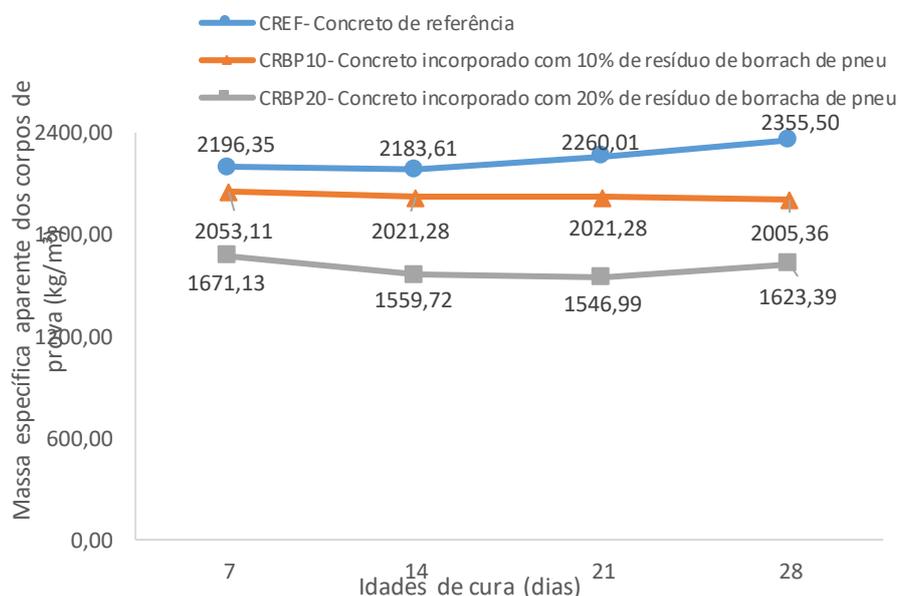
O aumento na capacidade de absorção do concreto pode ser atribuído à fraca ligação entre o resíduo de borracha e a pasta de cimento, que permite a entrada de líquidos através dos vazios existentes entre o resíduo de borracha e a pasta de cimento.

Selung et al. (2013) ao realizarem os ensaios de absorção em blocos de concreto incorporados com borracha de pneus, verificaram que para os teores de 15%, 25% e 35% os valores médios de absorção de água foram de 4,7%, 6,1% e 6,4%. No entanto, Fioriti et al. (2010) relataram que o uso de resíduos de borracha de pneus não interfere de forma significativa na absorção de água do concreto.

4.1.5.2 Determinação da Massa Específica Aparente do Concreto em Estudo

A Figura 24 ilustra os resultados obtidos para a massa específica aparente dos corpos de prova do concreto em estudo.

Figura 24: Massa específica aparente dos corpos de prova do concreto em estudo



O resíduo de borracha de pneus é considerado um agregado leve, a diferença entre a densidade do resíduo de borracha e do agregado miúdo convencional, promove uma redução na massa específica do concreto, caracterizando o concreto com adição de borracha, como um concreto leve.

De acordo com os resultados ilustrados na Figura 24, observa-se que conforme aumenta-se o teor de substituição do agregado miúdo convencional por resíduo de borracha de pneus, ocorre uma redução da massa específica aparente do concreto. Para o concreto com 10% e 20% de resíduo de borracha de pneus houve redução de massa dos corpos de prova da ordem de 10% e 30%, respectivamente, em relação ao concreto de referência.

O concreto de referência apresentou massa específica aparente média no estado endurecido de $2,26\text{g/cm}^3$ na idade de 28 dias. Para o concreto com 10% e 20% de substituição do agregado miúdo, obteve-se os valores de $2,0\text{g/cm}^3$ e $1,62\text{g/cm}^3$ para massa específica aparente média, respectivamente, aos 28 dias de cura. Os concretos são tidos como leves quando apresentam massa específica inferior à $2,0\text{g/cm}^3$, deste modo, o concreto com os teores de resíduo de borracha analisados neste estudo se enquadram nesses limites, o que evidencia a possibilidade da utilização desse resíduo na composição de concretos leves.

O aumento na proporção de resíduo de borracha de pneus, que foi duplicado na pesquisa, de 10% para 20%, promoveu além da redução na massa específica do concreto, o aumento da consistência o que ocasionou dificuldades no adensamento e, conseqüentemente, a geração de um maior índice de vazios no estado endurecido.

O teor de resíduo, a granulometria e origem da borracha afeta diretamente as propriedades físicas do concreto, e conseqüentemente, sua aplicabilidade. O RBP empregado neste estudo apresentou uma absorção da ordem de 50% e massa específica de $0,67\text{g/cm}^3$, influenciando na trabalhabilidade do concreto, no teor de ar incorporado e na absorção de água do concreto.

Fazzan (2011) verificou que os concretos com incorporação de resíduo de borracha de pneu obtiveram aumento no teor de ar incorporado, quando comparados com os traços sem adição de resíduo. Granzotto (2010) salienta

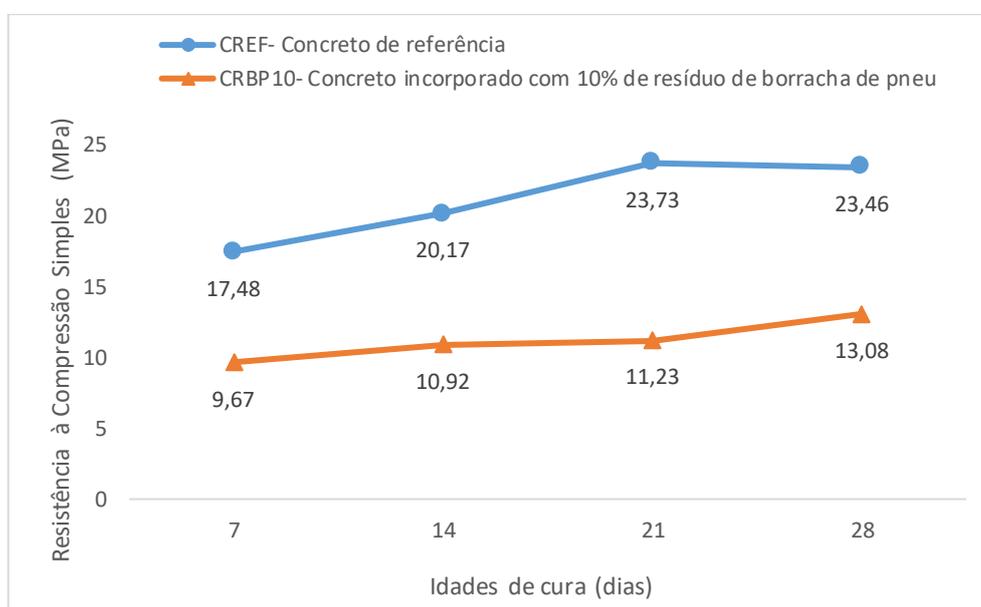
que o ar incorporado à mistura do concreto também promove a redução da massa específica, de modo que quanto maior é o teor de ar incorporado, menor será a massa específica.

4.1.6 Determinação das Propriedades Mecânicas do Concreto

4.1.6.1 Determinação da Resistência à Compressão Simples

A Figura 25 ilustra os resultados obtidos para a resistência à compressão simples do concreto de referência e com 10% de RBP.

Figura 25: Resistência à compressão simples do concreto em estudo



De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do agregado miúdo convencional (areia quartzosa) por resíduo de borracha de pneus no teor de 10% promoveu redução da resistência à compressão simples do concreto para todas as idades de cura em estudo, obtendo-se aos 28 dias uma redução de resistência de 44,2%.

Para o estudo de dosagem realizado nesta pesquisa, foi estabelecido um $f_{ck} = 20$ MPa para o concreto aos 28 dias de cura. Verificou-se que o concreto de referência apresentou resultados dentro do estabelecido neste estudo, porém o concreto com incorporação de 10% de resíduo de borracha de pneus apresentou redução da ordem de 44,7% para 7 dias de cura, 45,9% para 14

dias de cura, 52,7% para 21 dias de cura e 44,2% para 28 dias de cura, indicando que sua utilização como substituinte do agregado miúdo convencional compromete a resistência do concreto, não atendendo ao que preconiza a Norma da ABNT NBR 6118 (ABNT,2003) que estabelece uma resistência mínima para o concreto aos 28 dias de 20MPa.

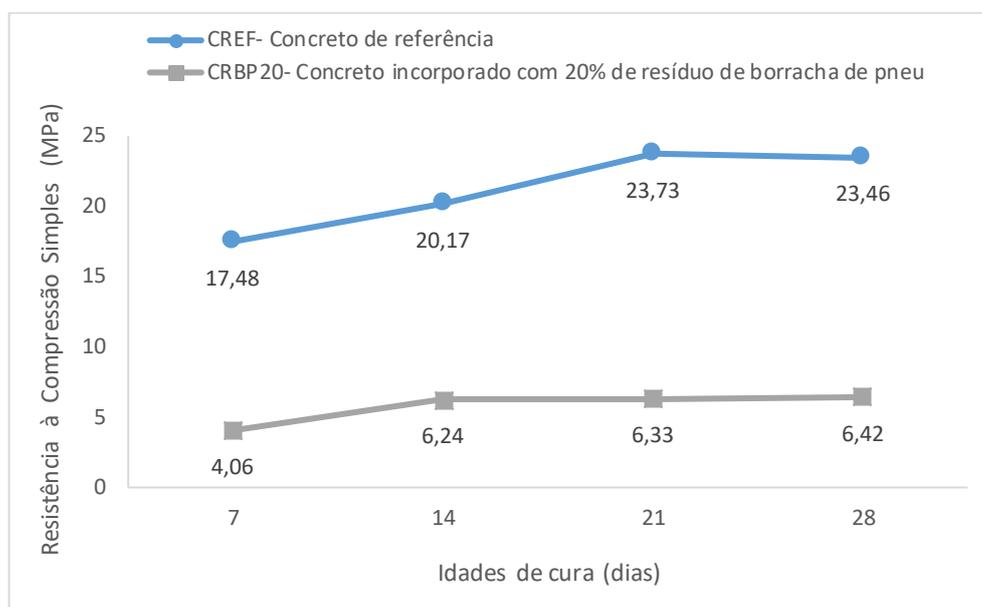
Selung et al. (2013) observaram em seu estudo que houve redução significativa da resistência a compressão nos concretos com teor de resíduo de borracha de até 25%, permanecendo praticamente constante até 35% de adição de resíduo, indicando ainda que para os traços com incorporação de até 25% de resíduo de borracha pode-se atingir 88% de redução da resistência.

Granzotto & Souza (2013) obtiveram em seu estudo redução de 39% da resistência para a adição de 10% de resíduo de borracha, enquanto Junior (2016) verificou perda de 52,9% para a mesma proporção de resíduo em substituição do agregado miúdo. A análise da literatura mostra que os resultados obtidos para as propriedades mecânicas do concreto incorporado com resíduo de borracha de pneus sofrem influência de alguns fatores como a composição granulométrica, origem do resíduo, tratamento superficial prévio do resíduo e utilização de aditivos plastificantes, podendo-se obter para o mesmo teor de resíduo incorporado, diferentes valores de resistências mecânicas.

Segundo Fioriti et al.(2010) e Shen et al. (2013) o fator limitante da empregabilidade do resíduo de borracha como agregado no concreto tem sido a redução da resistência à compressão. Porém, vem sendo observado que a incorporação desse resíduo proporciona ganhos de outras propriedades importantes para o concreto, como a capacidade de absorver energia e a flexibilidade.

A Figura 26 ilustra os resultados obtidos para a resistência à compressão simples do concreto de referência e com 20% de resíduo de borracha de pneus.

Figura 26: Resistência à compressão simples do concreto de referência e com 20% de resíduo de borracha de pneus



De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a resistência a compressão do concreto sofreu redução significativa de resistência com a substituição do agregado miúdo por RBP, verificando-se redução de 72,6% para 28 dias de cura.

Granzotto (2010) salienta que a redução observada na resistência do concreto com incorporação de borracha, pode ser atribuída à má aderência entre a pasta de cimento e a borracha e ao módulo de deformação elástica.

Seydell & Lintz (2009) pesquisaram a adição de borracha de pneu em substituição de 10%, 20%, 30% e 40% em massa de agregado miúdo, observando perdas significativas de resistência à compressão e tração, de acordo com o aumento do teor de borracha incorporado, concluindo que para os traços estudados, o concreto com substituição de até 10% em massa do agregado miúdo se adequaria as especificações normativas para utilização em pavimento de concreto.

Shen et al. (2013) afirmam que há um teor de substituição ideal do agregado natural por resíduo de borracha de pneus, de modo que a utilização de teores abaixo do nível ótimo resulta em má distribuição do resíduo no concreto, reduzindo os valores de resistência à compressão. Desse modo, o uso da quantidade ótima de borracha no concreto, proporciona uma distribuição

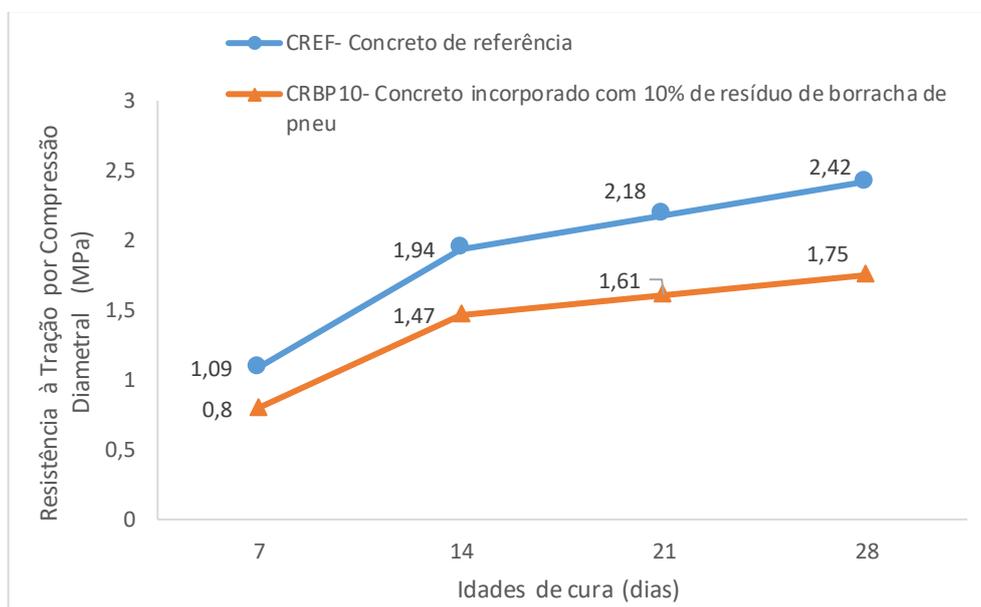
uniforme do resíduo na mistura, fazendo com que a força de carregamento se distribua uniformemente, aumentando a resistência. No entanto, o uso de teores acima do nível ótimo, resulta em aumento da fragilidade do compósito, devido ao resíduo de borracha tornar a estrutura do concreto mais porosa, reduzindo a resistência.

Dentre as vantagens da incorporação do resíduo à massa do concreto estão a melhoria nas propriedades térmicas e acústicas, que podem otimizar blocos de vedação, e combate a fissura e absorção de energia, características interessantes de serem implementadas em vias de ciclovias e calçadas.

4.1.6.2 Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral

A Figura 27 ilustra os resultados obtidos para a resistência a tração por compressão diametral do concreto de referência e com 10% de resíduo de pneus.

Figura 27: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência e com 10% de resíduo de borracha de pneus



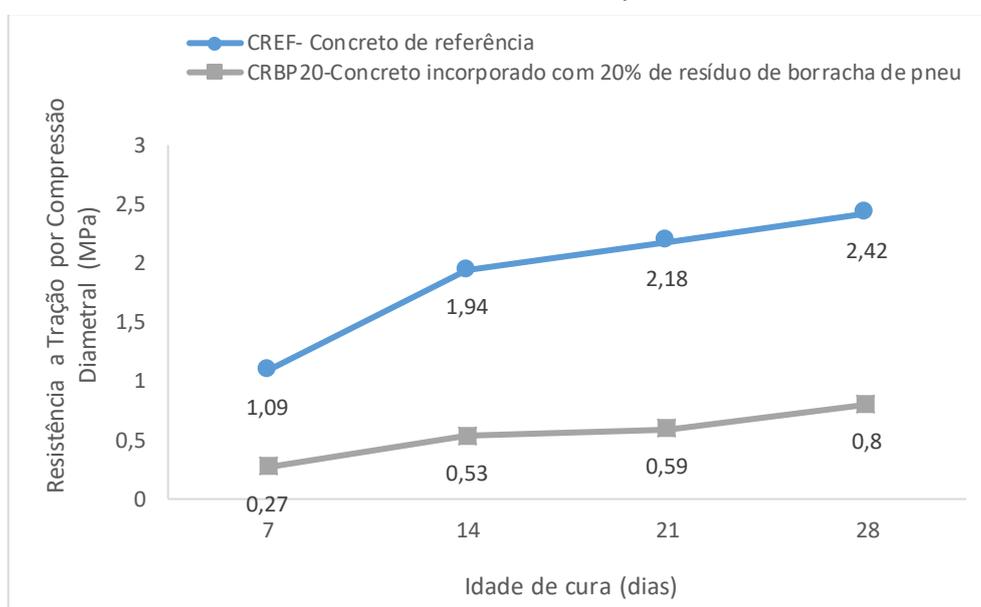
Verifica-se de acordo com os resultados ilustrados na Figura 27 que a resistência à tração por compressão diametral do concreto com incorporação de 10% de resíduo de borracha de pneus apresentou uma redução da resistência à

tração quando comparado ao concreto de referência, obtendo-se aos 28 dias de idade redução de 27,7%.

De acordo com Metha & Monteiro (2008), a ruptura do concreto ocorre de modo frágil à tração e relativamente dúctil à compressão. Como os resultados obtidos mostram fragilidade menor do concreto na tração, este comportamento será maior na compressão.

A Figura 28 ilustra os resultados obtidos para a resistência a tração por compressão diametral do concreto de referência e com 20% de resíduo de pneus.

Figura 28: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência e com 20% de resíduo de pneus



Observa-se nos resultados da Figura 28, que o aumento no percentual de resíduo de borracha incorporado ao concreto para 20% em massa de agregado miúdo, ocasionou perdas significativas da resistência à tração por compressão diametral, quando comparado a resistência obtida para o concreto de referência. Verificando-se perda de 66,9% para a idade de cura de 28 dias. Vale salientar que as perdas de resistência obtidas para o concreto com teor de 20% de resíduo de borracha de pneus foram aproximadamente o triplo do valor obtido para o concreto com 10% de incorporação de resíduo.

Para Giacobbe et al. (2008) a redução das propriedades mecânicas dos concretos produzidos com resíduo de borracha de pneus pode ser atribuída a

dificuldade de adensamento dos materiais de granulometrias menores, que contribuem com a segregação da mistura, devido a facilidade de deslocamento dentro da massa.

Albuquerque (2009) relata que embora haja redução nas propriedades mecânicas, o mesmo concreto demonstra uma capacidade maior de deformação e tem comportamento menos frágil à fratura, indicando capacidade maior de absorção de energia se comparado ao concreto convencional, indicando ainda que o comportamento da mistura é devido as características de desempenho da borracha de pneu, que é capaz de suportar grandes deformações elásticas antes da fratura do concreto. Tal característica é interessante e tem aplicabilidade em situações onde o concreto esteja sujeito a fissurações.

Após a ruptura a compressão diametral do concreto, observou-se que apesar da redução da resistência, verificou-se que o concreto com incorporação do resíduo de borracha de pneus apresentou fissuras inferiores às obtidas para o concreto de referência, exigindo esforço adicional para fracioná-lo. Esse fenômeno foi mais evidente para o concreto com 20% de RBP. A Figura 29 ilustra a distribuição das fissuras e padrão de ruptura do concreto de referência e com 20% de resíduo de borracha de pneus.

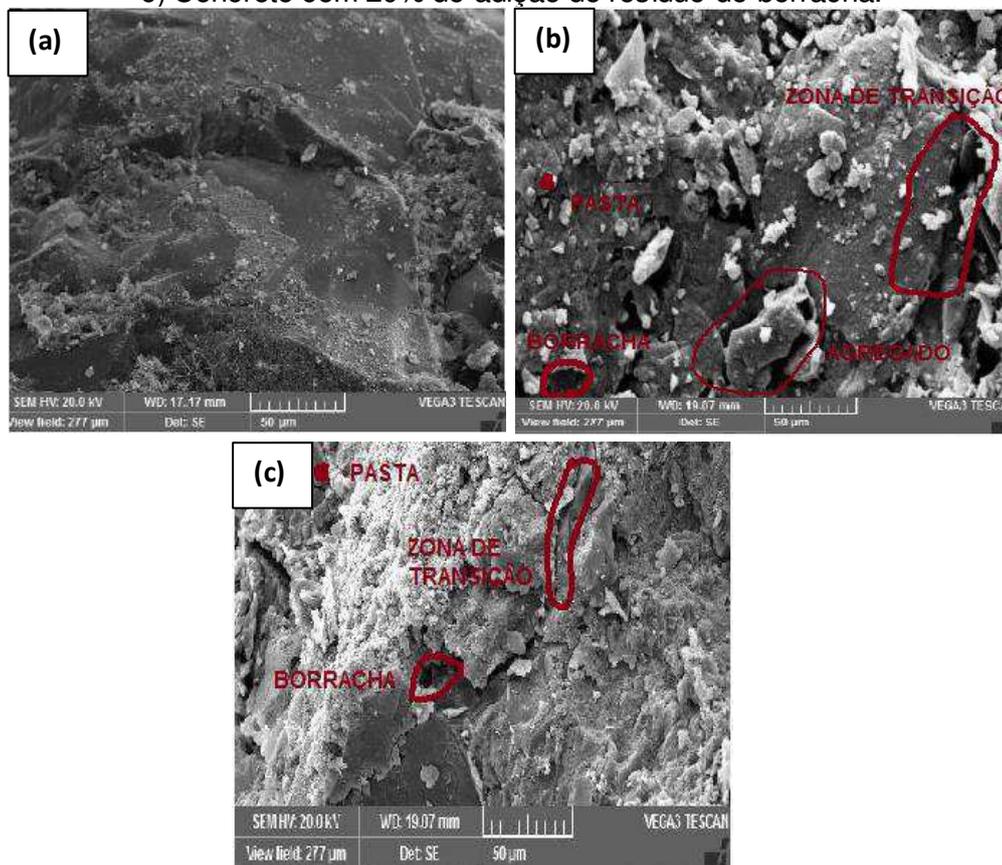
Figura 29: Distribuição das fissuras e padrão de ruptura do concreto com 20% de resíduo de borracha de pneu.



4.1.6.3 Avaliação da Microestrutura do Concreto em Estudo

A Figura 30 (a, b e c) ilustra os resultados obtidos para a microscopia eletrônica de varredura do concreto em estudo.

Figura 30: Microscopia eletrônica de varredura do concreto em estudo: a) Concreto de referência; b) Concreto com 10% de adição de resíduo de borracha; c) Concreto com 20% de adição de resíduo de borracha.



De acordo com os resultados obtidos, observa-se para a Figura 30(a) a micrografia de um concreto com uma estrutura homogênea e organizada com presença de poucos poros, indicando que houve uma perfeita hidratação do cimento e arranjo estrutural entre os componentes do concreto.

Para a micrografia correspondente ao concreto com substituição do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneus no teor de 10% Fig. 30 (b), observa-se uma estrutura morfológica com textura grosseira e heterogênea, com presença de poros arredondados e partículas dispersas na matriz, indicando que a presença da borracha de pneus contribuiu para o surgimento de vazios na estrutura, e conseqüentemente aumento da absorção de água; além de zonas de transição entre a pasta de cimento e o grão de agregado, o que pode ter sido

revelado devido a necessidade de um maior fator água cimento (fa/c) para a obtenção da consistência desejada para o concreto com esse teor de incorporação de borracha. O maior consumo de água contribui para a formação de capilares na estrutura interna do concreto, o que resulta em uma maior porosidade residual e conseqüentemente redução da resistência. O surgimento de trincas e fissuras são originárias dos vazios existentes na estrutura interna do concreto. Deste modo, justifica-se os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com 10% de resíduo de borracha de pneus.

Para o concreto com 20% de RBP, observa-se uma estrutura irregular e heterogênea com presença de poros com dimensões diversas, partículas dispersas na matriz cimentícia que podem ser impurezas ou partículas de cimentos que não alcançaram uma completa hidratação e existência de zonas de transição. Pode ser definido como um concreto constituído de partículas de agregado, envolvida por uma matriz porosa de pasta de cimento, com uma zona de transição entre as duas fases, constituída de características próprias, o que corrobora com os resultados obtidos para a absorção de água do concreto, justificando o aumento de aproximadamente 65% de absorção obtido para o concreto com teor de 20% de resíduo de borracha aos 28 dias de cura.

Pode-se inferir ainda, que conforme a micrografia obtida para o concreto com 20% de RBP na Fig. 30 (c), que a redução da resistência a compressão simples e a tração por compressão diametral não deve-se apenas a presença de poros na estrutura do concreto, ou a resistência intrínseca do agregado de borracha de pneus ser inferior à oferecida pelo agregado convencional, mas devido ao resíduo de borracha de pneus apresentar absorção de água muito elevado, aproximadamente 52%, impedindo que o cimento tivesse acesso a água necessária para sua completa hidratação.

Tanto o excesso como a insuficiência de água, comprometem a resistência do concreto (VALIN & LIMA, 2010). O excesso de água contribui para ocorrência de fenômenos como exsudação, segregação e formação de poros na estrutura, enquanto a ausência ou insuficiência de água de amassamento contribui significativamente para o impedimento da ocorrência do processo de hidratação do cimento, resultando em um concreto com resistência inferior.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 Considerações Finais

De acordo com os objetivos estabelecidos neste estudo e com base nos resultados obtidos, pôde-se obter as seguintes considerações:

A incorporação do resíduo de borracha de pneus promoveu o aumento da absorção de água do concreto em estudo, indicando que quanto maior o teor de incorporação do resíduo maior a absorção do concreto em estudo.

Os concretos obtidos com a incorporação de 10% e 20% de resíduos foram classificados como concretos leves, com massas específicas aparentes de 2,0g/cm³ para adição de 10% e 1,62g/cm³, para adição de 20% de resíduo de borracha de pneus. Essa redução da massa específica aparente do concreto é uma das vantagens encontradas para a utilização desse tipo de resíduo, obtendo-se na pesquisa redução de até 30%, em relação ao concreto de referência.

Quanto às propriedades mecânicas, a substituição do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneus promoveu uma redução da resistência à compressão axial e da resistência à tração por compressão diametral, notando-se uma tendência à redução de acordo com o aumento do teor de resíduo incorporado, sendo, portanto, mais evidente para o concreto com adição de 20% de resíduo.

Para o teor de 10% de resíduo de borracha, obteve-se os melhores resultados quanto as propriedades mecânicas, quando comparado com as misturas com RBP, alcançando resistência à compressão simples de 13,08 MPa e resistência à tração por compressão diametral de 1,75 MPa. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2003), o concreto produzido com o traço utilizado e com o percentual de incorporação de resíduo de borracha de pneus de 10% não é viável para utilização como concreto estrutural, pois possui resistência à compressão simples inferior a 20 MPa. No entanto, existem diversas aplicabilidades para esse concreto tais como o emprego em meio fios, calçadas, blocos de vedação e ciclovias.

As micrografias obtidas para o concreto em estudo indicaram que o concreto de referência apresenta estrutura interna organizada e com poucos poros, enquanto que para o concreto com incorporação de resíduo de borracha de pneus observa-se uma estrutura grosseira e heterogênea, com presença de poros e zona de transição, corroborando os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas do concreto em estudo.

A utilização do agregado reciclado de borracha de pneu se mostrou uma alternativa interessante e atrativa devido as propriedades inerentes ao material e que beneficiam o concreto, sendo necessário investigar maneiras de otimizar e viabilizar economicamente o uso do resíduo, retirando-o do meio ambiente e dando uma destinação ambientalmente correta. Devido ao posicionamento da pesquisa, visando à incorporação do resíduo in natura, sem que houvesse gastos adicionais com processos de melhoria para o concreto, a utilização do teor de 20% de resíduo, sem fazer uso de aditivos plastificantes, cimento de alta resistência inicial ou tratamento superficial ao resíduo a fim de melhorar o desempenho do concreto, não apresentou valores viáveis para aplicação para finalidades estruturais, no entanto, pode ser utilizado para calçadas, ciclovias, etc, podendo contribuir para a redução do volume de descarte de pneus no meio ambiente.

5.2 Sugestões para Pesquisas Futuras

De acordo com os resultados obtidos neste estudo e com o intuito de um maior aprofundamento do tema, são postas as seguintes sugestões para futuras pesquisas envolvendo a utilização de borracha de pneus em concreto:

- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas do concreto com incorporação dos teores de 10% e 20% de resíduo de borracha de pneus fazendo uso de aditivos e /ou cimento de alta resistência inicial;
- Analisar as propriedades mecânicas do concreto com incorporação de teores de resíduo de borracha de pneus diferentes dos utilizados neste estudo;

- Avaliar a possibilidade de utilização do resíduo de borracha de pneus para produção de pisos intertravados;
- Investigar a viabilidade de utilização do resíduo de borracha de pneus para produção de artefatos de concreto.

REFERÊNCIAS

- ABCP, Anuário brasileiro do setor de concreto. 8ed. – são Paulo; associação brasileira de cimento portland (ABCP), 2014, 196p.
- ABREU, Diego. Empresas privadas respondem por 54% dos investimentos em infraestrutura no Brasil. CNI. São Paulo, SP – Brasil, 2016.
- ALVES, G. S.; CRUZ, A. L. Asfalto - borracha: uma inovação na tecnologia aliada ao meio ambiente. Monografia (Trabalho de conclusão de curso), Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiânia/GO. 2007.
- AGOPYAN, V.; JOHN V. M. O Desafio da sustentabilidade na construção civil. São Paulo: Blucher, 2011. v. 5, 26 p.
- ALBUQUERQUE, A.C. Estudos das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneus. Tese de Doutorado. Porto Alegre, RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 257 p.
- AMBIENTE BRASIL. Reciclagem de Pneus. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&conteudo=./residuos/reciclagem/pneus.html>. Acesso: 19 de novembro de 2017.
- ANIP Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos. Disponível em: <http://anip.com.br>. Acesso: 18 de novembro de 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7219: Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos, 1987
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7251: Agregado em estado solto - Determinação da Massa Unitária, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11579 Mb 3432 :Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 248: Determinação da Composição Granulométrica, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7810: Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7223 Determinação da Consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7222: Concreto e Argamassa - Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7211: Agregado para concreto: Especificação, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento, 2003.

BRAVO, R. S. Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim. 2014. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, São Paulo, 2014.

BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente - CONAMA Resíduos da Construção Civil, MMA, Resolução nº 448, Brasília. 2012.

BAZANI, A. Descarte de pneus inutilizados: um problema com soluções óbvias e baratas, mas que ainda é um grande desafio para muitas empresas de transporte. 12 dez. 2009. Disponível em: <<http://onibusbrasil.com/blog/2009/12/12/descarte-de-pneus-inutilizados-umproblema-com-solucoes-obvias-e-baratas-mas-que-ainda-e-um-grande-desafio-para-muitas-empresas-de-transporte>>.

- CAMPOS, W. C. Concreto com adição de fibras de borracha: um estudo frente às resistências mecânicas. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo/SP. 2010.
- 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.
- CARELI, Élcio Duduchi. A Resolução CONAMA 307/2002 e as novas condições para gestão dos resíduos de construção e demolição. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Departamento de Resíduos Sólidos Urbanos, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008. 155 f.
- 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.
- CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acessado em: 18 de novembro de 2017.
- CHAGAS FILHO, M. B. Estudo de agregados lateríticos para utilização em concretos estruturais. Tese (doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. 2013.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no. 258, de 26 de agosto de 1999. Resoluções. Disponível em <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 18 de novembro de 2017.
- CONSTANTINESCU, Constantin. Ecological Dimension of Tire Management. Environmental Impact of tire use. *International Journal of Academic Research in Accounting*, Bucharest, v. 2, n. 1, p. 187-195, out. 2012.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO - DENATRAN. Frota 2017. Brasília, 2017.
- 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.

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Nota Técnica DEA 13/14. Demanda de Energia 2050. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, Brasil. 245 pp. Disponível em: . Acesso em: 25 de jul. 2015.
- FAZZAN, J. V. Comportamento estrutural de lajes pré-moldadas treliçadas com adição de resíduos de borracha de pneu. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.
- FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. *Acta Scientiarum – Technology*, Maringá, v. 32, n. 3, p. 237-244, 2010.
- FREITAS, C. Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2007. 137f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. Orientador: Kleber Franke Portella.
- JOHN, V. M. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 97-121.
- JOHN, V. M.; GLEIZE, P. J. P. Materiais de Construção Civil: Perspectivas e desafios futuros. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 1747-1759.
- GANJIAN, E.; KHORAMI, M.; MAGHSOUDI, A. A. Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. *Construction and Building Materials*, Amsterdam, v. 23, p. 1828-1836, 2009
- GIACOBBE, S. Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneus. 2008. 105f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- GOMES FILHO, C. V. Levantamento do Potencial de Resíduos de Borracha no Brasil e Avaliação de sua Utilização na Indústria da Construção Civil. Dissertação de Mestrado. Instituto de engenharia do Paraná, Curitiba, 2007.

- GRANZOTTO, L. Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana – Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, 2010.
- LARUCCIA, M. M. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. ENIAC Pesquisa, Guarulhos, v. 3, n. 1, p. 70-85, jan. 2014.
- MEHTA, K.P.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.
- MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2014. 573 p.
- NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.
- OZBAY, E.; LACHEMI, M.; SEVIM, U. K. Compressive strength, abrasion resistance and energy absorption capacity of rubberized concretes with and without slag. Materials and Structures, London, v. 44, n. 7, p. 1297-1307, 2010.
- PEDROSO, F.L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. São Paulo, SP – Brasil, 2016.
- PELISSER, F.; BARCELOS, A.; SANTOS, D.; PETERSON, M.; BERNARDIN, A. M. Lightweight concrete production with low Portland cement consumption. Journal of Cleaner Production, Amsterdam, v. 23, p. 68-74, 2012.
- PELISSER, F.; ZAVARISE, N.; LONGO, T. A.; BERNARDIN, A. M. Concrete made with recycled tire rubber: effect of alkaline activation and sílica fume addition. Journal of Cleaner Production, Amsterdam, v. 19, p. 757-763, 2011.
- PROBST, C. A. Viabilidade de produção de concreto com uso de resíduo de borracha de pneu. 2011. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.
- RECICLANIP. O ciclo sustentável do pneu. São Paulo. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/v3/#stop>> Acesso em: 17 de novembro de 2017.

- RMA: Rubber Manufacturers Association - Energy Recovery From Scrap Tires. May, 2002. Disponível em: <<http://www.rma.org/scraptires/Energy.html>> acesso em: 15 de novembro de 2017.
- RODRIGUES, J. P. C.; SANTOS, C. C. Resistência à compressão a altas temperaturas do betão com agregados reciclados de borracha de pneu. In: CONGRESSO IBERO LATINO AMERICANO SOBRE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO, 2, 2013, Coimbra. Anais... Coimbra: CILASCI, 2013. p. 1-10.
- ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural. 2009. 84 f. Tese (Livre-Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- SANTOS, GISELE B. DOS. Gerenciamento de resíduos na indústria de exploração e produção de petróleo: atendimento ao requisito de licenciamento ambiental no Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade do Sul de Santa Catarina, 152fls, 2013.
- SELUNG, C. S.; MENEGOTTO, M. L.; MENEGOTTO, A. G. F.; PAVAN, R. C. Avaliação de blocos de concreto para alvenaria com adição de resíduos de borracha de pneus. *Hobs Environment*, Rio Claro, v. 13, n. 2, p. 212-223, 2013.
- SEYDELL, M. R. R., LINTZ, R. C. C. Propriedades mecânicas do concreto com adição de borracha de pneus para pavimentos rodoviários. *Estudos Tecnológicos*, 2009.
- SHEN, W., SHAN, L., ZHANG, T., et al., “Investigation on polymer – rubber aggregate modified porous concrete”, *Construction and Building Materials*, v.38, p. 667-674, 2013.
- 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.
- SILVEIRA, P.M.; ALBUQUERQUE, M.C.F.; CASSOLA, S.; BORTOLUCCI, A.A.; PAULLI, L.D.; VILLA, F.M.D. Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. *Revista Matéria*, v.21, n.2, pp. 416– 428, 2016

SNELSON, D. G.; KINUTHIA, J. M.; DAVES, P. A.; CHANG, S. R., Sustainable construction: composite use of tyres and ash in concrete. Waste Manage: 2009. 29360-7.

SNIC – Sindicato Nacional da Industria de Cimento. Disponível em: <http://snic.org.br/>. Acesso em 14 de novembro de 2017.

SOUZA, Monique Maciel; LICÓRIO, Angelina Maria de Oliveira; PAULA, Luciane Maria Argenta de Mattes; SIENA, Osmar. Logística reversa das garrafas de Skol litrão em Porto Velho-RO. ENIAC Pesquisa, Guarulhos, v. 3, n. 1, p. 104-121, jan. 2014.

VALIN JR, M. Q.; LIMA, Sandra Maria de. Influência dos ciclos de cura. Concreto & Construção. V.60, p 51-54, 2010.

VANCELLOT, R. Acordo entre iniciativa privada e poder público garante que obras saiam do papel. Jornal O Dia, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 9 de Janeiro de 2017. Disponível em: <<http://odia.ig.com.br/economia/2017-0109/acordo-entre-iniciativa-privada-e-poder-publico-garante-que-obras-saiamdo-papel.html>>. Acesso em :15 de novembro de 2017.

ANEXO 1 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DO CONCRETO INCORPORADO COM BORRACHA DE PNEUS

Tabela 12: Resistência à compressão axial dos corpos de prova.

CONCRETO	CREF			C10%RBP			C20%RBP		
	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CPMÉD (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CPMÉD (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CPMÉD (MPa)
Idades									
7 dias	17,48	17,48	17,48	9,98	9,35	9,67	4,37	3,74	4,05
14 dias	19,73	20,61	20,17	11,23	10,6	10,92	7,48	4,99	6,24
21 dias	24,73	22,73	23,73	9,98	12,47	11,23	6,6	6,1	6,33
28 dias	21,96	24,96	23,46	13,4	12,8	13,08	6,3	6,55	6,42

FONTE: Autoria Própria (2018).

Tabela 13: Resistência à compressão diametral dos corpos de prova.

CONCRET O	CREF			C10%RBP			C20%RBP		
	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CPMÉ D (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CPMÉ D (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CPMÉ D (MPa)
Idades									
7 dias	1,03	1,15	1,09	0,81	0,8	0,8	0,25	0,28	0,27
14 dias	1,94	1,94	1,94	1,5	1,43	1,47	0,5	0,56	0,53
21 dias	1,87	2,49	2,18	1,62	1,60	1,61	0,56	0,62	0,59
28 dias	2,40	2,44	2,42	1,70	1,80	1,75	0,62	0,72	0,80

FONTE: Autoria Própria (2018).