



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
MESTRADO ACADÊMICO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

JOSÉ EDILSON PINTO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS ORIUNDOS DE
RECAUCHUTADORAS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND SUJEITO A IMPACTOS DE COLISÃO**

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral

**Fortaleza
2012**



JOSÉ EDILSON PINTO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS ORIUNDOS DE
RECAUCHUTADORAS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND SUJEITO A IMPACTOS DE COLISÃO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal do Ceará como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral

Fortaleza
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Instituto Federal do Ceará - IFCE

Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

J83u Pinto, José Edilson.

Utilização de resíduos de borracha de pneus oriundos de recauchutadoras na produção de concreto de cimento Portland sujeito a impactos de colisão / José Edilson Pinto. - 2012. 81 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2012.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

1. Concreto de cimento Portland. 2. Propriedades mecânicas. 3. Raspa de pneu. 4. Impacto de colisão. 5. Reciclagem. I. Título.

CDD 628

JOSÉ EDILSON PINTO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS ORIUNDOS DE
RECAUCHUTADORAS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND SUJEITO A IMPACTOS DE COLISÕES**

Dissertação submetida à coordenação do curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em tecnologia em Gestão Ambiental

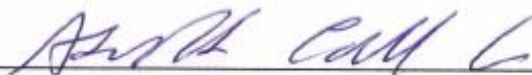
Aprovada em 08 / 06 / 2012

Banca Examinadora



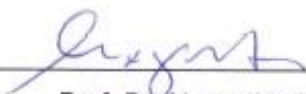
Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)

Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental/Instituto Federal do Ceará



Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini

Universidade Federal do Ceará - UFC

A **DEUS**, razão de toda existência,
Aos meus pais, José e Ludovina (*in memoriam*), razão de minha existência,
À minha esposa Selma, ao meu filho Viktor, aos meus familiares, aos meus
alunos e amigos, razões que me motivam continuar existindo.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral, por ter aceitado nosso pedido e concretizado a orientação desse trabalho, com paciência e amizade e também por ter disponibilizado o Laboratório de Materiais de Construção da UFC, para realização de alguns dos ensaios mecânicos executados na pesquisa.

Aos professores doutores Adeildo Cabral e Nájila Cabral, pelo incentivo, e ajuda, antes, durante e após as disciplinas cursadas no mestrado.

Ao Professor MSc. José Ramalho Torres, pelas discussões técnicas e pela disponibilidade do Laboratório da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) para realização dos ensaios mecânicos em concreto necessários a elaboração desta pesquisa.

Ao Professor Dr. Tasso Lofti Matos, pelo incentivo e pela disponibilização do Laboratório de Materiais de Construção do IFCE para moldagem e cura dos corpos-de-prova de concreto utilizados nessa pesquisa.

Ao Professor Rinaldo Araújo, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do IFCE, pela paciência, colaboração técnica e incentivo, principalmente no momento em quase perdíamos o entusiasmo para concluir esse trabalho.

A todos os professores do mestrado e também aos colegas de magistério do IFCE, que me incentivaram e ajudaram direta e indiretamente na realização desse trabalho.

A todos os colegas de turma do mestrado e em particular ao Nilson Araújo e ao Aldenor Pontes, colegas de magistério no IFCE e grandes amigos, pela força dada quando cursávamos as disciplinas do mestrado.

Ao Prof. João Sabóia e aos bolsistas do Laboratório de Materiais de Construção do IFCE, pela ajuda na moldagem dos corpos-de-prova de concreto, e em particular ao Samuel Cavalcante, pela sua incansável dedicação, tanto na parte experimental quanto na formatação dessa dissertação.

Aos laboratoristas do Laboratório de Materiais de Construção da UFC, em particular a Frâncio, pela gentileza e dedicação, quando da realização dos ensaios mecânicos de concreto executados nesta pesquisa.

Aos laboratoristas do NUTEC, e em particular ao Marquinhos, pela presteza e apoio na execução dos diversos ensaios mecânicos realizados nos laboratórios desta instituição.

A Recauchutadora São Luís Pneus, BR 116, km 14 em Messejana, Fortaleza – CE, na pessoa do sócio proprietário, Sr. Cícero Herisson, pela gentileza da doação da raspa de pneu utilizada nesta pesquisa.

A todas as pessoas não citadas que de uma forma ou de outra contribuíram na realização desse trabalho.

RESUMO

A destinação final dos resíduos sólidos no nosso planeta e em particular dos resíduos de pneus inservíveis tem sido um dos grandes desafios enfrentados pela humanidade nos tempos atuais. Por ser um material de decomposição extremamente lenta e de difícil compressibilidade, o que gera grandes volumes, torna-se totalmente inviável e por essa razão proibida a sua deposição em aterros sanitários. Quando abandonados ou depositados clandestinamente a céu aberto em locais inadequados, rapidamente causam impactos que resultam em prejuízos ao meio ambiente e à saúde da população. Com o intuito de mitigar esse problema, a utilização de resíduos de pneus tem se mostrado viável na composição de traços de concreto de cimento Portland, substituindo parcialmente os agregados miúdos ou graúdos e até ambos simultaneamente. Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar o comportamento mecânico do concreto utilizando resíduos granulares (raspa), oriundos da recauchutagem de pneus, substituindo parcialmente o agregado miúdo (areia) e comparando-o com o concreto convencional. Na fabricação dos concretos foram utilizados teores de 0%, 10% e 20% de borracha com fatores água/cimento (a/c) de 0,45 e 0,50. Experimentalmente moldaram-se corpos-de-prova cilíndricos que foram submetidos a ensaios mecânicos de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e módulo estático de elasticidade, além de corpos-de-prova prismáticos que foram submetidos a ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão e placas submetidas a ensaio de resistência a impacto de corpo rígido. Os resultados obtidos mostram uma queda das resistências mecânicas à compressão axial, à compressão diametral, à tração na flexão e do módulo estático de elasticidade nos concretos com 10% de borracha, sendo este efeito ainda mais pronunciado nos concretos com 20% de substituição, para ambos os fatores água/cimento testados, quando comparado às resistências dos concretos de referência (sem borracha). Entretanto, a resistência ao impacto de corpo rígido (energia absorvida na colisão) cresceu significativamente (entre 54% e 158 %) na proporção em que se aumentou o teor de borracha, até o limite de 20%. Estes resultados mostram que a presença da raspa de borracha torna o concreto mais deformável e mais tenaz e, portanto a utilização desse tipo de concreto é promissora para a fabricação de corpos pré-moldados sujeitos a impactos de colisão de veículos, o que favorece, sobretudo, aos aspectos ambientais da reciclagem, da redução de passivo ambiental e da sustentabilidade associada a esta aplicação.

Palavras-chave: Concreto de cimento Portland, Propriedades mecânicas, Raspa de pneu, Impacto de colisão, Reciclagem, Sustentabilidade ambiental.

ABSTRACT

The final destination of the solid waste on our planet and in particular the waste of scrap tires has been the great challenge facing humanity in modern times. Being an extremely slow decomposition material and difficult to the compressibility, which generates large volumes, it becomes totally impractical and therefore forbidden from disposal in landfills. When they are illegally abandoned and deposited in an inappropriate open air area, they quickly cause impacts that result in damage to the environment and to the population health. In order to mitigate this problem, the use of waste tires has proven feasible in the composition of concrete mixtures of Portland cement, by replacing partially small or large aggregates and even both simultaneously. This work was carried out with the objective of studying the concrete behaviour using granular waste (scraps) from the tire retreating, partially replacing the fine aggregate (sand) and comparing it with the conventional concrete. In the manufacture of concrete, concentrations of 0%, 10% and 20% rubber and water/cement factor (w/c) of 0.45 and 0.50 have been used. Shaped cylindrical bodies specimens were subjected to mechanical tests to determine the resistance to axial compression, tensile strength by diametrical compression and static modulus of elasticity, while prismatic specimens were subjected to tensile strength in the flexure and plaques were finally evaluated to the impact resistance of rigid body test. The results showed a decrease of mechanical resistance to axial compression, tensile, compressive and diametrical static module of elasticity in the concrete with 10% rubber, the effect being greater in the concrete with a content of 20% aggregate replacement, for both the water/cement, when compared to the resistance of the reference concrete (without rubber). However, the impact resistance of the rigid body (tenacity or energy absorbed) increased with increased the rubber content (between 54 and 158 %) until 20% of replacement. The results confirm the presence of the scrap tire produces more compressible and deformable concrete and is very promising to manufacture of precast bodies (concrete barriers) subjects to impact collision of the vehicles where concrete fracture is desired for energy dissipation. In the other hand the indirect environmental benefits associated to recycling, solid waste reduction and sustainability are important.

Key words: Concrete, Portland cement, Scrap tire, Mechanical properties, Crash impact, Recycling, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Composição média de um pneu novo	21
Figura 2-	Estrutura geral de um pneu veicular	21
Figura 3-	Cone de Abrams usado para determinação da consistência segundo o Slump Test	26
Figura 4-	Representação da tenacidade em material de construção tipo concreto reforçado com fibra de aço	28
Figura 5-	Comportamento de carga do concreto reforçado com fibra de aço em diferentes teores	30
Figura 6-	Atividades típicas do processo logístico reverso	42
Figura 7-	Equipamento empregado na realização do ensaio de impacto de corpo rígido	50
Figura 8-	Ilustração de uma típica placa fraturada durante o ensaio de impacto de corpo rígido	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Resultados dos ensaios de caracterização dos materiais empregados no estudo experimental	45
Tabela 2-	Traços unitários em massa empregados no cálculo dos materiais por mistura em betoneira	46
Tabela 3-	Traços/betonada em massa para o fator água/cimento de 0,45	47
Tabela 4-	Traços/betonada em massa para o fator água/cimento de 0,50	47
Tabela 5-	Relação de corpos-de-prova submetidos a ensaios de resistência para fator água/cimento 0,45	49
Tabela 6-	Relação de corpos-de-prova submetidos a ensaios de resistência para fator água/cimento 0,50	49
Tabela 7-	Resultados de abatimento de tronco de cone (slump test) durante a determinação da plasticidade e coesão do concreto de cimento Portland	52
Tabela 8-	Valores da resistência à compressão axial em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem	54
Tabela 9-	Valores da resistência à tração por compressão diametral em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem	56
Tabela 10-	Valores do módulo estático de elasticidade em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem	57
Tabela 11-	Valores da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem	58
Tabela 12-	Valores da resistência ao impacto de corpo rígido em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-	Alterações de atuação do poder público em função da nova lei de resíduos sólidos	38
Quadro 2-	Alterações de atuação dos catadores de lixo em função da nova lei de resíduos sólidos	39
Quadro 3-	Alterações de atuação das empresas em função da nova lei de resíduos sólidos	40
Quadro 4-	Alterações de atuação da sociedade civil em função da nova lei de resíduos sólidos	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Fator água/cimento
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
COELCE	Companhia de Eletrificação do Estado do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP II Z 32 – RS	Cimento Portland Pozolânico Resistente a Sulfatos
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GELOG	Grupo de Estudos Logísticos da Universidade Federal de Santa Catarina
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
NBR	Norma Brasileiras
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xii
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 O Pneu	20
3.2 Resíduos de Pneus e Sustentabilidade	22
3.3 O Concreto de Cimento Portland	23
3.3.1 Tipos de Concreto	25
3.3.2 Propriedades do Concreto	25
3.3.3 Concreto Reforçado com Fibras	29
3.4 A utilização de Resíduos de Borracha de Pneus em Concreto	31
3.5 Propriedades do Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneus	34
3.6 A Política Nacional dos Resíduos Sólidos e Sustentabilidade	37
3.7 A Logística Reversa e o Contexto Ambiental	41
4. MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1 Seleção dos Materiais	44
4.2 Caracterização dos Materiais	44
4.3 Traços	46
4.4 Produção dos Corpos-de-Prova de Concreto	48
4.4.1 Descrição do ensaio de Impacto de corpo rígido	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1 Resultados para o Concreto no Estado Fresco – Slump Test	52
5.2 Resultados para o Concreto no Estado Endurecido	54

5.2.1 Resistência à compressão axial	54
5.2.2 Resistência à tração por compressão diametral	55
5.2.3 Módulo estático de elasticidade	57
5.2.4 Resistência à tração na flexão	58
5.2.5 Impacto de corpo rígido	59
6 CONCLUSÕES	63
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXO	74

1. INTRODUÇÃO

A disposição inadequada de pneus em terrenos baldios, rios e lagos, e até mesmo em aterro sanitário, como destino final desses resíduos, tem se constituído em dos principais desafios ambientais em todo planeta, e em particular no Brasil, onde a água acumulada nesses pneus contribui para a proliferação de mosquitos e outros vetores transmissores de doenças, como a dengue. Considerando que pneus inservíveis são resíduos intratáveis e sua decomposição pode durar séculos, a mitigação desse impacto ambiental altamente negativo, passa certamente, pela reutilização desse material.

Os problemas com resíduos de pneus inservíveis no Brasil se agravaram nos anos 1990, quando o governo permitiu a importação de pneus usados oriundos da Europa e dos EUA. Atraídos por peças ainda em bom estado de conservação e preços baixos, os importadores enviaram para os brasileiros, não só pneus descartados em seus países de origem, mais também o lixo de toneladas de borracha, aliviando o problema de resíduos sólidos desses países e agravando o brasileiro.

Segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, desde 1990, entraram no Brasil 38,1 milhões de pneus usados ou recauchutados, aumentando o passivo ambiental para cerca de 100 milhões de unidades depositadas em locais inapropriados. Em 2002, entraram no mercado brasileiro 49 milhões de pneus fabricados no país ou importados (SECEX, 2011).

Embora exista hoje a proibição de importação de pneus usados, estabelecida pela resolução 23 do CONAMA, que vigora desde 1996, as empresas continuam a importar com base em liminares. A única exceção favorece os países do Mercosul, pois a pedido do Uruguai, o Tribunal Arbitral do Mercosul obrigou o Brasil a importar pneus pré-moldados, o que representou de janeiro a dezembro de 2002, a entrada de 15,4 mil pneus vindos deste país. No mesmo período, liminares judiciais permitiram a entrada de 53,1 mil unidades vindas da Espanha, 35,2 mil da França, 51,2 mil do Reino Unido e 22,3 mil da Itália (SECEX, 2011).

Nos EUA estima-se que sejam dispostos no meio ambiente cerca de 285 milhões de pneus por ano algo em torno de 4,7 milhões de toneladas, o que representa mais de um pneu por habitante/ano. Desse total 33 milhões de pneus são recauchutados, 22 milhões reutilizados e outros 42 milhões são destinados a outras aplicações.

O restante, cerca de 188 milhões de unidades é enviado para aterros sanitários ou descarto ilegalmente no ambiente (HEITZMAN, 1992).

Alguns estados americanos decretaram leis para controlar a disposição dos pneus, que impõem restrições para o armazenamento em aterros sanitários, que estabelecem o recebimento somente se estiverem trituradas e mediante o pagamento de taxas elevadas. Para a estocagem são exigidas instalações adequadas com medidas preventivas de combate a incêndio, cobertas e protegidas por tapumes.

Nos EUA são co-processados 1,2 milhões de toneladas/ano de pneus como combustível alternativo, sendo 19% deste montante empregado em fornos de fábricas de cimento (HEITZMAN, 1992). Na Europa são descartados por ano cerca de 120 milhões de pneus sendo proibida a destinação de pneus inservíveis inteiros ou picados em aterros sanitários. Cerca de 40% dos pneus inservíveis descartados são utilizados para substituir combustíveis minerais de forno de fábricas de cimento (TARCKIANI, 2004).

Adicionalmente, a utilização de resíduos de borracha de pneus provenientes das indústrias recauchutadoras, na construção civil, além de dar destinação útil a um elemento extremamente poluidor do meio ambiente, proporciona economia no produto final, tendo em vista que os resíduos de pneus são adquiridos nas recauchutadoras por preços muito baixos e em alguns casos até por doação.

No Brasil, com a publicação da resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009), que revoga as resoluções nº 258 de 26 de agosto de 1999 e nº 301 de 21 de março de 2002 do próprio CONAMA regulamenta-se que as empresas fabricantes de pneus são obrigadas a coletar e dar destinação final adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional. A referida portaria determina ainda que os distribuidores, revendedores, destinadores, consumidores finais e o poder público, deverão

juntamente com os fabricantes e importadores, implementar procedimentos para a coleta de pneus inservíveis. Os fabricantes, os importadores, os reformadores e os destinadores de pneus inservíveis que estão enviando seus resíduos para a reciclagem, devem ainda informar os nomes das empresas de origem e a destinação.

Neste contexto visando atender as resoluções do CONAMA e contribuir com a mitigação dos impactos causados ao meio ambiente, a Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (ANIP) implantou um programa de coleta de pneus inservíveis em todo o Brasil, através de parcerias com distribuidores, revendedores e prefeituras, abrangendo 237 municípios brasileiros, que inclui a implantação de postos de coleta denominados “Ecopontos”, que recebem os pneus de vendas, de borracheiros e coletores urbanos, pondo em prática a logística reversa dos pneus inservíveis (ANIP, 2011).

De acordo com o Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE, 2011), os pneus e câmaras de ar consomem algo em torno de 70% da produção nacional de borracha. No Brasil, em 2006, foram produzidos quase 55 milhões de pneus, sendo que cerca de um terço dessa produção foi exportada para mais de 85 países e o restante ficou para o abastecimento do mercado nacional.

Segundo a ANIP, no Brasil se recicla cerca de 80% dos pneus usados coletados transformando-se em combustível para fornos de cimenteiras. Por possuírem alto poder energético, semelhante ao coque de petróleo e superior ao do carvão, os pneus são utilizados inteiros ou triturados. Neste caso, os fabricantes de cimento, além de deixar de usar combustível fóssil, lucram financeiramente, pois os fabricantes de pneus pagam as cimenteiras cerca de R\$ 50,00 por tonelada (ANIP, 2011).

Do ponto de vista da reciclagem a PETROBRAS, em sua unidade de negócios da industrialização do xisto, localizada em São Mateus do Sul/PR, desenvolveu um processo de reutilização de pneus e borrachas, via co-processamento com xisto em sua unidade industrial. O processo admite cerca de 5% em peso da vazão de xisto, em pneus picados. Outro exemplo de logística reversa pós-consumo do pneu se refere ao asfalto fabricado com adição de borracha de pneus. Neste caso além dos benefícios ambientais gerados, também se ajuda a

reduzir o déficit de pavimentação asfáltica de nossas rodovias. Destaca-se ainda que barreiras rodoviárias podem ser fabricadas com concreto utilizando resíduos de pneus, em substituição parcial aos agregados miúdos (areia) e graúdo (brita) ou a ambos.

Neste âmbito é proposta dessa pesquisa a utilização de resíduos de borracha (raspas) proveniente de pneus de recauchutagem em substituição parcial ao agregado miúdo natural (areia) na confecção de concreto de cimento Portland, contribuindo assim ao conhecimento tecnológico para este tipo de aplicação na construção civil e aos aspectos de sustentabilidade ambiental decorrente desta ação. Neste último contexto vislumbra-se inicialmente uma importante contribuição para a preservação do meio ambiente, considerando a mitigação do impacto causado pela retirada da areia de suas jazidas naturais.

Particularmente, nesta pesquisa será empregado como resíduo de borracha somente as raspas de pneu oriundas de recauchutadoras, as quais substituíram apenas a areia, pois a granulometria da raspa só é compatível para emprego como agregado miúdo, material que passa em peneira de 4,8mm, segundo a ABNT NM 248 (ABNT, 2003). Assim, considerando que a recauchutagem é um processo de reciclagem de pneus, ou seja, utiliza pneus usados; o emprego da raspa oriunda desse processo, que é um subproduto (resíduo do resíduo), gera-se um duplo ganho ecológico.

Considera-se ainda que a adição de borracha ao concreto, embora reduza a resistência mecânica, incorpora ao mesmo a característica de tenacidade, tornando-o capaz de absorver parte da energia gerada por impactos em colisões, reduzindo a gravidade dos danos materiais e principalmente humanos em acidentes rodoviários. Em tempo, destaca-se que concretos contendo borracha são empregados na fabricação de blocos pré-moldados sujeitos a impactos de colisão, tais como barreiras rodoviárias, prismas de sinalização de vias e defensas de proteção à postes de linha de transmissão e de distribuição de energia elétrica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho mecânico de concreto de cimento Portland sujeito a impacto de colisão utilizando resíduos de pneus oriundos de recauchutadoras em substituição parcial do agregado miúdo com vistas à futuras aplicações tecnológicas e à sustentabilidade ambiental.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a influência da utilização de resíduos de borracha de pneus oriundos de recauchutadoras sobre as resistências à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, à tração na flexão e módulo de elasticidade em corpos-de-prova confeccionados em concreto de cimento Portland;
- b) Avaliar a influência da utilização de resíduos de borracha de pneus oriundos de recauchutadoras via ensaio mecânico de impacto de corpo rígido, sobre o desempenho de concretos de cimento Portland a serem empregados na fabricação de barreiras de proteção rodoviária e de segurança.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Pneu

O pneu é o componente de contato entre o veículo e o solo, que transmite e recebe esforços provenientes de acelerações, desacelerações e impactos. Possui uma geometria próxima da toroidal (sólido ou superfície gerada pela rotação de curva plana fechada em torno de uma reta que lhe é coplanar e não secante) que se deforma em contato com o solo (PINHEIRO, 2001).

Segundo a ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, a produção brasileira de iniciou-se em 1934, quando foi implantado o plano geral de viação nacional. No entanto, a concretização desse plano só ocorreu em 1936 com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha no Rio de Janeiro, que em seu primeiro ano de vida fabricou mais de 29.000 pneus (ANIP, 2011).

Entre 1938 e 1941, outras grandes fabricantes do mundo passaram a produzir pneus no Brasil, aumentando a nossa produção anual para 441 mil unidades. No final dos anos 80, o Brasil já havia produzido mais de 29 milhões de pneus. Hoje existem 15 fábricas de pneus instaladas em território nacional, das quais cinco são internacionais: Bridgestone, Continental, Goodyear, Michelin e Pirelli (ANIP, 2011).

De acordo com Freitas (2007), o pneu é constituído fundamentalmente de borracha natural ou sintética, hidrocarbonetos e negro de fumo conforme é apresentado nas Figuras 1 e 2. A borracha representa um total de 40 % a 50 % do pneu. O aço é considerado como material complementar.

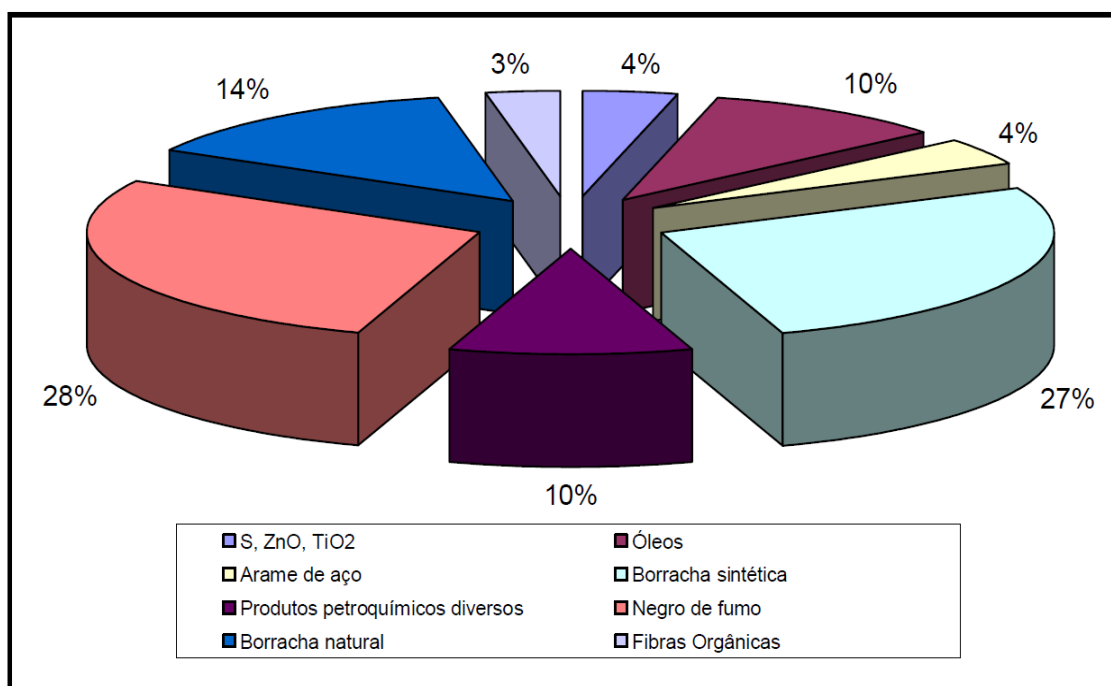


Figura 1 - Composição média de um pneu novo. Fonte: Freitas (2007).

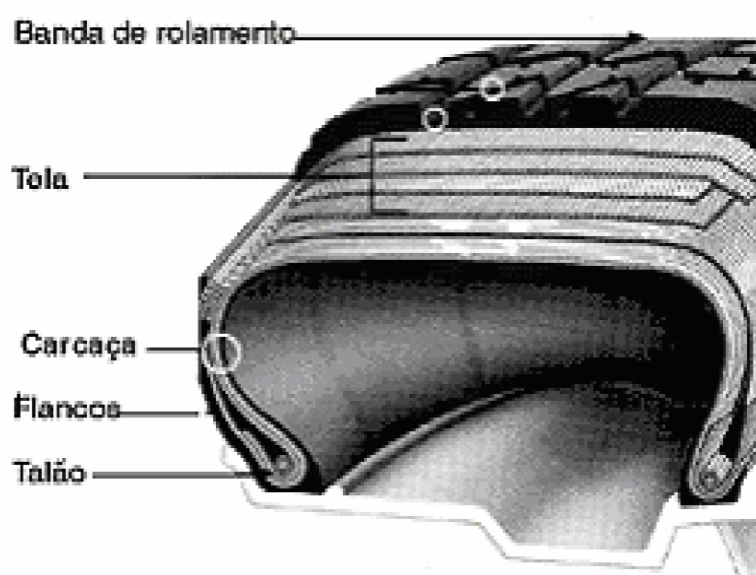


Figura 2 – Estrutura geral de um pneu veicular. Fonte: Freitas (2007).

Segundo Silva (2004), a reutilização, reciclagem e disposição de pneus inservíveis, podem ser divididas em três categorias:

- 1) Reutilização: nesse caso os pneus são aproveitados inteiros.

2) Reciclagem: os pneus são transformados em um novo produto a partir de métodos físico e/ou químicos. Neste caso têm-se a confecção de tapetes, sandálias e agregados miúdos e graúdos para concreto, por exemplo.

3) Valorização energética: os pneus são utilizados na geração de energia calorífica devido ao seu elevado poder calorífico (aproximadamente 817 kcal/kg, superior ao carvão).

3.2 Resíduos de Pneus e Sustentabilidade

O gerenciamento de resíduos de pneus inservíveis tornou-se uma preocupação mundial, tendo em vista os impactos ambientais causados pelos mesmos. Estima-se existir cerca de 100 milhões de pneus abandonados em aterros, lixões, córregos, lagos e rios do Brasil (ANIP, 2011).

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2011), os pneus dos veículos de passeio possuem durabilidade para rodar até 50 mil km e a maioria dos fabricantes não recomenda a recauchutagem. Já os pneus de ônibus e caminhões podem rodar até 100 mil km, sendo possível fazer pelo menos três recauchutagens.

No Brasil, desde a promulgação da resolução nº 258/99 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 1999), ficou definida as responsabilidades referentes à destinação final dos pneus inservíveis, norma que posteriormente veio a ser regulamentada pelas instruções normativa nº 8 de 20/05/2002 (CONAMA 2002) e nº 21 de 26/09/2002. Atualmente encontra-se em vigor a Portaria do próprio CONAMA nº 416 de 30/09/2009 (CONAMA 2009).

Nos estados brasileiros onde ainda não existe gerenciamento de coleta e destinação de pneus inservíveis e sem incentivos econômicos ou legislações para estimular os revendedores, recauchutadoras e a população quanto à disposição adequada destes, se faz necessário a implantação de programas municipais voltados para a problemática dos resíduos de pneus, com a participação dos fabricantes, importadores, revendedores, prestadores de serviços, usuários e da população em geral, com o objetivo de se estabelecer uma sistematização da coleta e encaminhamento destes resíduos para destino final adequado, contribuindo assim para a redução do passivo ambiental gerado pelos mesmos.

Embora de grande utilidade para os fins a que se destina, o pneu causa impacto em toda sua vida. Quando utilizado, libera fragmentos ao ar, provocando reações alérgicas às pessoas e poluição atmosférica. Terminada a sua vida útil, se abandonado, torna-se uma grande ameaça.

Segundo Freitas (2007), os principais impactos causados por pneus abandonados relacionam-se:

- a) ao entupimento de bueiros, que diminuem a capacidade de escoamento das águas pluviais, provocando alagamentos e depósitos de água parada, que irão facilitar a proliferação de vetores transmissores de doenças, como são os casos do mosquito *Aedes Aegypti*, transmissor da dengue, e de ratos que se alimentam do lixo carregado pelas enchentes e através de sua urina transmitem a leptospirose.
- b) aos efeitos da queima a céu aberto, pois quando queimados nesta condição, os pneus liberam substâncias tóxicas nocivas através de emissões de gases de monóxidos de carbono (CO), óxidos de enxofre (SOx), orgânicos voláteis (VOCs), além de gases perigosos como dioxinas, furanos, ácido clorídrico, benzeno e metais como cádmio, chumbo, mercúrio, níquel, cromo, argônio e prata (semi-voláteis e voláteis) As substâncias liberadas são tóxicas e causam efeitos nocivos como irritação na pele, nos olhos, nas membranas mucosas, depressão do sistema nervoso central, insuficiência respiratória e câncer.
- c) ao efeito do armazenamento em meio aquoso, pois os pneus inservíveis abandonados em meio aquoso que sofrerem lixiviação liberam metais para o ambiente. Esses metais podem migrar para as águas superficiais ou subterrâneas através de infiltração.

3.3 O Concreto de Cimento Portland

O concreto é um dos materiais de construção mais antigos da humanidade. Os antigos romenos já utilizavam uma espécie de concreto feita de cinzas vulcânicas (depois denominada de pozolana natural) misturadas com cal que era empregada na moldagem e ligação de peças formadas por grandes blocos de pedra. No ano de 1756, John Smeaton utilizou pela primeira vez uma argamassa calcinada na construção do farol de Eddystone, na Inglaterra. A partir de 1824, com o advento do

cimento Portland, patenteado por Joseph Aspiim, o concreto assumiu o lugar de destaque entre os materiais de construção e passou a ser estudado cientificamente em função dos elementos constitutivos e de suas propriedades físicas (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O concreto de cimento Portland é o material resultante da mistura convenientemente proporcionada de um aglomerante (cimento Portland), um agregado miúdo (geralmente areia lavada), um agregado graúdo (geralmente a brita), aglutinados com água. Quando necessário podem ser acrescentado aditivos com a finalidade de alterar algumas propriedades do concreto em função de sua aplicação (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a água quando em contato com o cimento formam uma pasta e sob mistura desenvolve-se a reação química denominada de hidratação. Essa pasta é responsável pela aderência dos agregados (inertes). Nas primeiras horas após o preparo, essa mistura chamada de concreto no estado fresco se molda ao formato que se queira dar preenchendo os espaços da forma, sendo esse período denominado de tempo de pega. Passado o período de pega o concreto endurece e com o passar dos dias, adquire grande resistência mecânica, transformando-se num material monolítico semelhante a uma rocha. Essa resistência faz parte das propriedades do concreto no estado endurecido e depende basicamente das resistências dos agregados, da pasta e da ligação entre as pastas e os agregados.

Para a produção do concreto são necessárias as seguintes operações:

- Dosagem ou quantificação dos materiais;
- Mistura dos materiais;
- Transporte até o local da obra;
- Lançamento ou colocação do concreto no seu local definitivo (forma);
- Adensamento, que consiste em tornar a massa do concreto a mais densa possível, eliminando os vazios;
- Cura, ou seja, os cuidados a serem tomados a fim de evitar a perda da água pelo concreto nos primeiros dias de idade.

3.3.1 Tipos de concreto

Em função da massa específica, o concreto pode ser classificado em três grandes categorias (MEHTA e MONTEIRO, 1994):

- Normal ou corrente: concreto contendo areia natural, brita ou seixo rolado, com massa específica de 2400 kg/m^3 .
- Leve: concreto contendo agregados especiais de baixa densidade, processados termicamente, tais como argila expandida e outros, cuja massa específica é inferior a 1800 kg/m^3 .
- Pesado: concreto usado na blindagem de radiações, produzidos a partir de agregados de alta densidade, cuja massa específica é superior a 3200 kg/m^3 .

A classificação pode ser feita também quanto à resistência à compressão, o que é comumente utilizado em países da Europa e de outros continentes, incluindo o Brasil. Neste caso o concreto é dividido em três categorias gerais, baseadas na resistência à compressão aos 28 dias de idade, a saber:

- Baixa resistência: concreto com resistência a compressão menor que 20 MPa;
- Resistência moderada: concreto com resistência a compressão de 20 a 40 MPa, sendo esse tipo de concreto coincidente com o de massa específica normal ou corrente, usado na maioria das estruturas;
- Alta resistência: concreto com resistência à compressão superior a 40 MPa.

3.3.2 Propriedades do concreto

A análise das propriedades do concreto é feita em duas condições: estado fresco e estado endurecido. No estado fresco as principais propriedades relacionadas são a:

a) **Consistência:** que se relaciona a mobilidade da massa e indica o maior ou menor grau de fluidez da mistura fresca, sendo influenciada pelo teor de água e materiais secos. Em função da consistência o concreto pode ser seco ou úmido, plástico ou fluido. O processo de determinação da consistência mais utilizado no Brasil é o ensaio de abatimento de tronco de cone (Cone de Abrams) também conhecido como Slump Test (ABNT NBR NM 67, 1998). O cone (Figura 3) possui 20 cm de diâmetro na base, 10 cm de diâmetro no topo e 30 cm de altura. A moldagem é feita em 3 camadas com alturas iguais (10 cm) e adensadas com 25 golpes, com barra de 16

A trabalhabilidade interage com a consistência e a plasticidade e depende essencialmente do tipo de obra que está sendo executada, ou seja, um concreto adequado para peças de grandes dimensões e pouco armadas, poderá não sê-lo para peças delgadas e muito armadas, ou em outra situação, um concreto que permite adensamento com vibração, sem segregação, provavelmente não proporcionará uma moldagem adequada e satisfatória com o uso de adensamento manual (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

No estado endurecido as principais propriedades relacionadas referem-se a:

a) **Resistência mecânica:** é a capacidade do concreto de resistir aos esforços a que são submetidos. Entre elas se destacam as resistências à compressão, à tração, à flexão e ao cisalhamento. Segundo Mehta e Monteiro (1994), a resistência é a medida da tensão exigida para romper o material, sendo expressa pela força por unidade de área.

Como a resistência do concreto é função do processo de hidratação do cimento, que é relativamente lento, as especificações e ensaios técnicos são referentes a corpos-de-prova curados em condições de temperatura e umidade por um período de 28 dias. O concreto normalmente usado é o de resistência à compressão moderada (20 a 40 MPa), embora já se produza comercialmente concretos de alta resistência de até 130 MPa.

Quanto às resistências à tração e à flexão, típicas do concreto, estas são da ordem de 10% e 15%, respectivamente, da resistência à compressão, sendo atribuição à razão desta expressiva diferença à heterogeneidade e complexidade da estrutura do concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), para alguns materiais de construção, como o aço, por exemplo, quando submetidos a incrementos de carga, o comportamento da tensão deformação pode ser analisado, dividindo-se em duas partes (Figura 4).

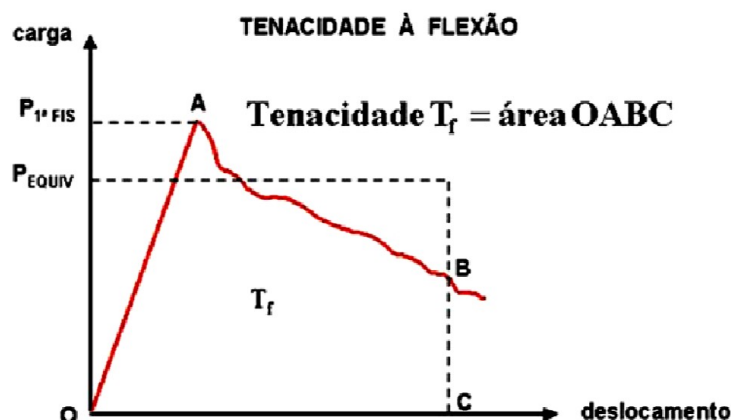


Figura 4 – Representação da tenacidade em material de construção tipo concreto reforçado com fibra de aço Fonte: adaptado de Figueredo (1997).

Na primeira parte da Figura 4, a elasticidade é proporcional à tensão aplicada e é reversível (trecho O a A), quando a carga é retirada. A propriedade relacionada é a chamada deformação elástica, sendo o seu módulo definido como a relação entre a tensão e a deformação reversível. Isto é válido para materiais homogêneos, porém não é válido para materiais multifásicos como o concreto. O limite de elasticidade à compressão do concreto representa a deformação máxima permitida antes do material adquirir a deformação permanente. No concreto o módulo de elasticidade à compressão varia de 14×10^3 a 40×10^3 MPa.

Na segunda parte da mesma figura, a um alto nível de tensão aplicada (trecho A a B), a deformação torna-se permanente, ou seja o material não retorna ao estado inicial, quando a carga é retirada, como acontece na primeira parte, portanto irreversível. Neste caso a deformação produzida é chamada de plástica ou permanente. Tecnicamente, a quantidade de energia necessária para romper o material nessa fase de deformação permanente, produto da força vezes a distância, é representada pela área sob a curva tensão deformação e se denomina de tenacidade.

A diferença entre a tenacidade a resistência, é que a primeira é a medida da energia, enquanto a segunda é a medida da tensão necessária para fraturar o material (MEHTA e MONTEIRO, 1994). A quantidade de deformação permanente que pode ocorrer antes do rompimento é uma medida da ductibilidade do material.

Nesse caso, dois materiais podem ter a mesma resistência, porém tenacidades diferentes. Entretanto, em geral, quando a resistência cresce, a ductibilidade e a tenacidade diminuem, ou seja, materiais com alta resistência normalmente rompem de maneira brusca, sem que ocorra deformação elástica ou permanente significativa (MEHTA E MONTEIRO, 1994). O concreto convencional, na prática não é considerado nos projetos estruturais como material dúctil e só é recomendado para ser submetido a impactos pesados, quando for armado com aço.

b) **Durabilidade e impermeabilidade:** a durabilidade é definida como sendo a capacidade do concreto resistir à ação do tempo, à abrasão, à erosão ou aos ataques químicos. A impermeabilidade influencia diretamente a durabilidade, considerando que um concreto impermeável impede o acesso de agentes agressivos. Tanto a durabilidade quanto a impermeabilidade do concreto sofrem influência da porosidade da pasta, pois quanto menos porosa esta se apresenta, mais impermeável e consequentemente mais durável será o concreto. A porosidade, por sua vez, depende do fator água/cimento e do grau de hidratação da pasta. Em resumo, quanto menor o fator água/cimento, mais próximos estarão os grãos de cimento entre si e menor será a porosidade; da mesma forma que com a evolução do processo de hidratação, também haverá redução da porosidade e consequentemente da impermeabilidade e da durabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

3.3.3 Concreto reforçado com fibras

O concreto contendo um aglomerante hidráulico (cimento Portland), água, agregados graúdos e miúdos e fibras discretas e descontínuas, é denominado concreto reforçado com fibras. Comumente têm sido usadas fibras de várias formas e tamanhos produzidas em aço, plástico, vidro e outros materiais, sendo as fibras de aço as mais utilizadas (MEHTA e MONTEIRO, 1994). As fibras naturais podem ser de origem animal (seda), vegetal (madeira, bambu, sisal, coco, entre outras) e mineral (amianto). As fibras mais comuns produzidas pelo homem são representadas por polímeros como o látex e a borracha.

O concreto é um compósito e a presença de fibras de aço modifica o comportamento da matriz pela inibição da propagação de fissuras através do mecanismo de transferência de tensões realizado da matriz para as fibras. Com isto o compósito mantém uma capacidade importante pós-fissuração e suporta deformações maiores do que a sustentada pela matriz sozinha, reduzindo a fragilidade do material (Figura 5). A propriedade utilizada para caracterizar essa mudança de comportamento do concreto é denominada de tenacidade (FIGUEREDO, 1997).

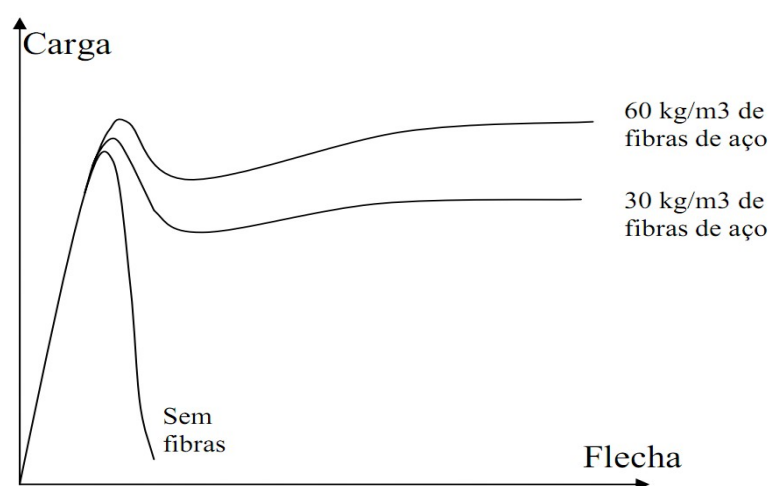


Figura 5 – Comportamento de carga do concreto reforçado com fibra de aço em diferentes teores. Fonte: adaptado de Figueredo (1997).

A resistência ao impacto está diretamente relacionada à tenacidade. Considera-se assim que a maior vantagem do reforço do concreto com fibras é a melhora da tenacidade à flexão (energia total absorvida ao ser rompido um corpo de prova à flexão), que se relaciona com a resistência ao impacto e a fadiga do concreto, as quais também aumentam significativamente. Infelizmente, pela escassez de ensaios satisfatórios de resistência ao impacto do concreto reforçado com fibras, tem sido difícil para os pesquisadores avaliar a exata magnitude da melhora (MEHTA e MONTEIRO, 1994). A solução por enquanto tem sido fazer adaptações ou recorrer ao ensaio de resistência ao impacto de corpos rígidos (ABNT NBR 15845, 2010), conforme relatado por Vita *et al.* (2007) e Kobayash e Pimentel (2010).

3.4 A Utilização de Resíduos de Borracha de Pneus em Concreto

As técnicas de incorporação de resíduos de borracha em concreto em cimento Portland variam entre os pesquisadores. Alguns optam pela utilização desses resíduos em substituição do agregado graúdo, outros de miúdo, ou de ambos, ou ainda pela incorporação dos mesmos como a adição ou fibras.

Topçu e Avicular (1997) e Martins (2005) avaliaram através de ensaios de impacto o comportamento de colisões em barreiras rodoviárias confeccionadas com o concreto utilizando resíduos de borracha de pneus, com o objetivo de obter melhor capacidade de absorção de energia para reduzir os danos causados pela ação dos veículos. Os autores observaram que utilizando borracha de granulometria de 1,7 e 2,2 mm, substituindo os agregados miúdos e graúdos, respectivamente em 15 e 45 %, reduziam-se os danos causados aos automóveis e que as barreiras de concreto com o uso de borracha em teor de 15 % apresentava melhor comportamento que as de concreto convencional, devido ao aumento da absorção de energia.

No Brasil foi patenteada pelo Instituto Via Viva a produção de um concreto contendo borracha. O sistema proposto foi denominado de Concreto DI (deformável e isolante), o qual proporciona benefícios que vão além da redução do passivo ambiental produzido pelos pneus inservíveis, pois a redução dos impactos causados pela colisão de veículos desgovernados minimiza os danos materiais e principalmente os traumáticos sofridos pelos passageiros de veículos sob colisão. No trabalho de recebimento desses pneus em postos de coleta denominados “ecopontos”, pode-se promover a geração de empregos, inclusive com a prática da inclusão social envolvendo pessoas com deficiência física.

Devido ao alto custo dos componentes derivados do petróleo utilizados na composição das camadas do revestimento asfáltico é crescente a busca por elementos alternativos de baixo custo e que apresentem bom desempenho mecânico. A incorporação de resíduos de borracha oriundos de pneus inservíveis torna-se uma alternativa bastante satisfatória.

O uso de borracha de pneus inservíveis na confecção do concreto asfáltico confere, ao mesmo, melhorias se comparado ao concreto asfáltico convencional, tais como aumento da durabilidade e da resistência aos raios ultravioleta, e acrescenta propriedades como flexibilidade, redução de trincas e resistência à deformação

permanente. Além disso, torna o pavimento mais confortável e seguro, pois diminui o nível de ruído causado pela grande movimentação de veículos e aumenta o atrito nas frenagens em dias de chuva. Acrescente-se a tudo isso a grande contribuição para o meio ambiente com a retirada de pneus descartados clandestinamente em rios, lagos e aterros inadequados.

Segundo Oda (2000), o asfalto-borracha é um asfalto modificado que tem propriedades significativamente diferentes do asfalto convencional. Na sua obtenção seja pelos processos a seco, a úmido ou misto é preciso aquecer a borracha previamente e misturá-la ao ligante durante um período de tempo suficiente para que resulte um produto uniforme e viscoso. Uma boa interação entre os ligantes e os grânulos de borracha conduz a obtenção de um concreto asfáltico de boa qualidade e com um grande consumo de borracha, tornando o processo misto bastante atrativo do ponto de vista ambiental.

Choubane *et al.* (1999) relatam que somente no estado da Flórida (EUA) foram empregados mais de 27 milhões de toneladas de misturas asfálticas modificadas com borracha na execução de pavimentos.

No Brasil, segundo Morilha Jr. e Greca (2003) o estado do Rio Grande do Sul foi pioneiro no uso do asfalto-borracha, em um trecho de aproximadamente 2 km da BR 116 no trecho Porto Alegre – Pelotas no ano de 1995. Atualmente o asfalto-borracha está presente em rodovias nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Minas Gerais e principalmente São Paulo, no sistema Anchieta - Imigrantes, sendo este o maior trecho de pavimentação no Brasil, com o uso dessa tecnologia.

Albuquerque *et al.* (2004) estudando a construção de estradas e barragens, analisaram a viabilidade do uso de borracha em concreto compactado a rolo, substituindo parcialmente a areia em teores de 5%, 10%, 15%, 20% e 25 %. Para cada teor houve uma substituição de areia por borracha com dimensões de 0,42 mm; 1,5 mm e de fibras de até 10 mm. Comparado ao concreto de referência, o concreto compactado a rolo com a adição de borracha apresentou redução do grau de compactação com o aumento do teor de borracha, o que é atribuído pelos autores à grande quantidade de ar retido em sua superfície e também à tendência das borrachas sobrenadarem durante a vibração do concreto. As propriedades

mecânicas sofreram reduções quanto maior foi o teor de borracha incorporado e menor a dimensão das partículas inseridas.

Fioriti (2007), com o objetivo de estudar algumas propriedades de blocos de concreto para pavimentação intertravada, também denominado de pavers, com substituição parcial do agregado por resíduos de borracha de pneus provenientes da recauchutagem observou que os ensaios de resistência à compressão nos blocos de concreto apresentaram valores baixos em comparação com os blocos sem resíduos. Os teores utilizados foram de 8, 10, 12, 15 e 20 % em volume de resíduo de borracha. Porém, nenhuma das dosagens de blocos atingiu o valor mínimo de 35 MPa prescrito na NBR 9781 (ABNT, 1987) para solicitações leves.

Verificou-se também que os blocos de concreto com borracha apresentaram índices de absorção de água por imersão abaixo do limite típico estipulado pelas normas internacionais para blocos de concreto para pavimentação intertravada, que é de 6 %. Ainda assim, todas as dosagens tiveram absorção menor que o limite máximo de 10% prescrito na NBR 12118 (ABNT, 2011) referente a blocos de concreto para alvenaria. Na dosagem com o teor de 10 % de resíduos, a absorção foi menor que nos blocos de concreto sem resíduos, contradizendo afirmações da literatura que afirmam que ocorre maior absorção em função da incorporação dos resíduos de borracha. Nos ensaios de resistência ao impacto houve aumento da capacidade de absorção de energia (tenacidade) nos blocos de concreto com adição de borracha em comparação como os blocos de concreto sem borracha.

Segundo Fioriti (2007), o uso de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha pode ser feito em ambientes com solicitações leves como, por exemplo, em calçados, praças, ciclovias e condomínios residenciais, contribuindo positivamente na redução desses resíduos, em favor da preservação do meio ambiente.

Segundo dados da Companhia de Eletrificação do Estado do Ceará (COELCE) a utilização de barreira de concreto (defensas) iniciou-se há bastante tempo como proteção dos postes de linhas de transmissão, devido ao alto grau da importância e impacto destas linhas. Com o aumento das exigências institucionais pela qualidade e continuidade dos serviços optou-se pela instalação de defensas também para redes de distribuição em média tensão 13,8 KV. Com base na NBR

14885 (ABNT, 2004) foi desenvolvido um plano de ação, cujo foco principal é a instalação de defensas nas bases dos postes instalados nas vias com maior reincidência de abalroamentos.

Especialistas da COELCE em parceria com pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC) realizaram ensaios de impacto em postes com e sem defensas através de corpos-de-prova com velocidade de 40 e 60 km/h. Os resultados obtidos após simulação numérica realizada sem e com defesa, mostraram que a força normal exercida pelo veículo no poste e consequentemente a sua reação no veículo apresentam reduções significativas da ordem de 27,8 %; sem considerar o amortecimento do veículo. Este valor é uma medida indireta da redução do impacto sofrido pelo condutor e denota a eficiência do emprego da defesa como elemento de amortecimento ao condutor do veículo. Os ensaios foram realizados em defensas fabricadas com concreto convencional, porém estão sendo desenvolvidos estudos com defensas utilizando concreto com borracha, mas os resultados ainda não foram divulgados.

3.5 Propriedades do Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneus

A principal propriedade a ser considerada na produção de concreto com adição de resíduos de borracha de pneus é a trabalhabilidade. Segundo Neville (1997) todo concreto deve ser produzido com trabalhabilidade adequada para as condições de sua aplicação. Na literatura, Kathib e Bayomy (1999) constataram que para concretos no estado fresco a substituição dos agregados por um teor de borracha superior a 80% (aproximadamente 40% do volume de agregados) resulta em uma consistência próxima a zero no ensaio de abatimento do tronco de cone, o que torna o concreto não trabalhável por mistura manual, mas ainda compactável com auxílio de um vibrador mecânico. Segundo Marques *et al.* (2004) o teor máximo de fibra de borracha para não comprometer a trabalhabilidade é de 20% do volume de concreto em produção.

Conforme Giacobbe (2008) um dos fatores que determinam a redução da trabalhabilidade concreto é a diminuição da massa específica do material devido à borracha incorporada. Como o ensaio de abatimento do tronco de cone depende da gravidade para a obtenção do resultado, quanto menor a massa específica do

concreto, menor o abatimento produzido. O autor relata ainda que este ensaio resulta em medidas pontuais e nem sempre há uma perfeita correspondência com as condições de aplicação como ocorre, por exemplo, em concretos bombeados.

Li *et al.* (2004) ao substituírem 15% do agregado graúdo por grãos ou fibras de borrachas de pneus, verificaram que a borracha praticamente não alterou a consistência e o teor de ar incorporado aos concretos. Esta avaliação contraria as demais pesquisas consultadas, que identificaram grande redução da consistência dos compósitos ao se adicionar borracha, independentemente de sua granulometria.

Na avaliação de concretos com adição de resíduos de borracha no estado fresco, Albano *et al.* (2005) utilizaram teores de 5% e 10 % em massa do agregado miúdo por borracha e observaram que houve redução 60% e 88% na consistência desses concretos em relação ao concreto convencional aos 28 dias de cura. Os autores atribuíram este fato a diminuição do escoamento devido à presença de uma grande quantidade de finos, representados pelas partículas de borracha de menor massa específica e conseqüentemente maior volume.

Existe uma unanimidade entre os resultados das pesquisas sobre concreto com o uso de resíduos de borracha de pneus, que é a constatação da perda das propriedades mecânicas, e em particular, a perda da resistência à compressão, seja por adição em substituição dos agregados miúdos ou graúdos em separado ou de ambos simultaneamente. Em todas as pesquisas consultadas a redução de resistência à compressão aumenta quanto com o teor de borracha utilizado. Entretanto, também ficou constatado o aumento da tenacidade do concreto.

Toutanji (1996) constatou que a redução da resistência à compressão é duas vezes maior que a resistência à tração na flexão nos concretos com borracha incorporada com parte do agregado graúdo. O autor também verificou que o concreto com borracha tem maior capacidade de absorção de energia, pois apresenta ruptura dúctil, ou seja, com deslocamento antes da fratura.

Topçu (1995) utilizando teores de 15%, 30% e 45% em volume de borracha, substituindo parte do agregado miúdo e parte do agregado graúdo em separado, produziu concretos para serem utilizados em barreiras rodoviárias. O autor constatou perda da resistência a compressão no concreto com borracha, porém alta capacidade de absorção de energia plástica, tornando-se este um campo de

aplicação importante dos resíduos de borracha de pneus.

Li *et al.* (2004) verificaram que os concretos com adição de resíduos de borracha de pneu apresentaram, em relação aos concretos convencionais, um aumento considerável na sua tenacidade, o que proporciona uma melhoria na capacidade de absorção de cargas dinâmicas e na resistência a fissuras.

Martins (2005) e Kobayaschi e Pimentel (2010) avaliaram a viabilidade técnica de concretos contendo borracha de pneus quando aplicados a sinalização rodoviária. Os autores verificaram que o concreto com substituição de agregado gráudo natural (brita) por resíduo de pneu apresenta bom desempenho mecânico, em geral, suficiente para atender a exigências de fabricação de defensas e com um grande incremento na capacidade de absorção de energia de impacto.

Hernandez-Olivares *et al.* (2002) avaliaram o comportamento estático e dinâmico de concreto com utilização de resíduos de borracha de pneus e com fibras de polipropileno. Neste caso não houve substituição de agregado e sim adição de 3,5% e 5% do volume em borracha, conservando o traço dos demais componentes. Na pesquisa foram realizados ensaios estáticos (resistência à compressão, tensão indireta e tração na flexão) e ensaios dinâmicos (teste de compressão dinâmica). Os autores observaram que os módulos aumentaram com a idade e diminuíram com o aumento do teor de fibras, sendo relevante o aumento da tenacidade do concreto.

Kobayaschi e Pimentel (2010) em um estudo de avaliação técnica de concretos contendo borracha, aplicados à sinalização rodoviária, utilizaram resíduos gráudos de pneus oriundos de recauchutagem, com teores de 5% e 10 % em substituição à brita. Nesse estudo foi verificado que nos ensaios de resistência à compressão a tensão máxima (média) aos 28 e 60 dias foi de 30,66 MPa no concreto de referência (sem borracha), a qual se reduziu para 29,78 MPa e 27,31 MPa nos concretos com 5% e 10% de borracha, respectivamente. Nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, a resistência média aos 28 e 60 dias foi de 29,33 MPa no concreto de referência, o qual aumentou para 36,20 MPa e 35,62 MPa nos concretos com 5% e 10 % de borracha, respectivamente.

Neste mesmo estudo no ensaio de resistência ao impacto adaptado da NBR 15845 (ABNT, 2010) observou-se que a capacidade de absorção de energia de impacto aumentou cerca de 50% com a substituição da brita por resíduos de

borracha de pneus. Com base nos resultados obtidos, os autores verificaram que o concreto com substituição do agregado graúdo natural por resíduos de pneus, apresenta bom desempenho mecânico quanto à resistência à compressão, neste caso, o suficiente para atender as exigências de fabricação de defensas ou barreiras rodoviárias. O maior benefício observado é o grande aumento da capacidade de absorção de energia nos casos de colisões nesse tipo de barreira.

3.6 A Política Nacional dos Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

No dia 2 de agosto de 2010 foi sancionada a Lei Federal nº 12305 que instituiu no Brasil a política nacional dos resíduos sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento destes resíduos, incluindo os perigosos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis (Art. 1º).

Estão sujeitas à observância dessa lei as pessoas físicas ou jurídicas de direito público ou privado, responsáveis direta ou indiretamente pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas a gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos (Art. 1º, § 1º). Esta lei não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica (Art. 1º, § 2º).

De acordo com o CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), entidade sem fins lucrativos e referência mundial em questões ligadas ao trato de resíduos urbanos, a lei nº 12305 é um marco histórico da gestão ambiental no Brasil e representa novos desafios para o poder público, empresas, catadores e população (CEMPRE, 2011). Tendo como princípio a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e população, a nova legislação impulsiona o retorno dos produtos às indústrias após o consumo (logística reversa) e obriga o poder público a realizar planos para o gerenciamento do lixo. Entre as novidades, a lei consagra o viés social da reciclagem com participação formal dos catadores organizados em cooperativas.

Promulgada após duas décadas de amplo debate com governo, universidades, setor produtivo e entidades civis, a política nacional dos resíduos sólidos promoverá mudanças significativas no setor, ou seja:

a) No poder público... “O poder público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos (...)” (Cap. III, Seção I, Art. 25). “No âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana (...) adotar procedimentos para reaproveitar os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis (...), estabelecer sistema de coleta seletiva, (...) dar disposição final ambientalmente adequada aos rejeitos (...)”. (Cap. III, Seção II, Art. 33).

O Quadro 1 apresenta as principais mudanças na gestão pública dos resíduos sólidos com a lei Federal nº 12305.

Quadro 1 - Alterações de atuação do poder público em função da nova lei de resíduos sólidos.

Antes	Depois
Falta de prioridade para o lixo urbano	Municípios farão plano de metas sobre resíduos com participação dos catadores
Existência de lixões na maioria dos municípios	Os lixões precisam ser erradicados em 4 anos
Resíduo orgânico sem aproveitamento	Prefeituras passam a fazer compostagem
Coleta seletiva cara e ineficiente	É obrigatório controlar custos e medir a qualidade do serviço

Fonte: CEMPRE (2011).

b) Nos catadores... “São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos: (...) a integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos ” (Cap. II, Art. 6º, XII). “O titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos priorizará a organização e o funcionamento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores (...) formadas por pessoas físicas de

baixa renda, bem como sua contratação” (Cap. III, Art. 36, VI).

O Quadro 2 apresenta as principais mudanças decorrentes da lei Federal nº 12305 no tocante a ação dos catadores.

Quadro 2 - Alterações de atuação dos catadores de lixo em função da nova lei de resíduos sólidos.

Antes	Depois
Ação de atravessadores e riscos à saúde	Catadores organizados em cooperativas com menos riscos à saúde
Informalidade	Cooperativas com controle pelos municípios para coleta e reciclagem
Problemas de qualidade e quantidade dos materiais	Melhoria na quantidade e qualidade da matéria-prima reciclada
Falta de qualificação e visão de mercado	Trabalhadores devem ser treinados e capacitados

Fonte: CEMPRE (2011).

c) Nas empresas... “(...) os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes tem responsabilidade que abrange (...) recolhimento dos produtos e dos resíduos remanescentes após o uso, assim como sua subsequente destinação final adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa (...)” (Cap. III, Seção II, Art. 31, IV). “As embalagens devem ser fabricadas com materiais que propiciem a reutilização ou a reciclagem” (Cap. III, Seção II, Art. 32).

O Quadro 3 apresenta as principais mudanças decorrentes da lei Federal nº 12305 no tocante a ação das empresas.

Quadro 3 - Alterações de atuação das empresas em função da nova lei de resíduos sólidos.

Antes	Depois
Inexistência de lei nacional para nortear os investimentos das empresas	Marco legal estimulará ações empresariais
Falta de incentivos financeiros	Novos instrumentos financeiros impulsionarão a reciclagem
Baixo retorno de produtos eletroeletrônicos pós-consumo	Mais produtos retornarão a indústria após o uso pelo consumidor
Desperdício econômico sem a reciclagem	Reciclagem avançará e gerará mais negócios com impacto na geração de renda

Fonte: CEMPRE (2011).

d) Na população... “Sempre que estabelecido sistema de coleta seletiva pelo plano municipal (...), os consumidores são obrigados a (...) acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos (...). O poder público municipal pode instituir incentivos econômicos àqueles que participam (...)”(Cap. III, Seção II, Art. 35)

O Quadro 4 apresenta as principais mudanças decorrentes da lei Federal nº 12305 no tocante a ação da população civil.

Quadro 4 - Alterações de atuação da sociedade civil em função da nova lei de resíduos sólidos.

Antes	Depois
Não separação do lixo reciclável nas residências	Consumidor fará separação mais criteriosa nas residências
Falta de informação	Campanhas educativas mobilizarão moradores
Falhas no atendimento da coleta municipal	Coleta seletiva melhorará para mais resíduos
Pouca reivindicação junto às autoridades	Cidadão exercerá seus direitos junto aos governantes

Fonte: CEMPRE (2011).

Pelo exposto é consenso dos estudiosos que com a promulgação e cumprimento irrestrito da lei que institui no Brasil a política nacional dos resíduos sólidos haverá uma significativa mitigação dos agentes agressores do meio ambiente e um conseqüente aumento da sustentabilidade do nosso território, e considerada as dimensões continentais do Brasil, também uma grande contribuição para a sustentabilidade do planeta como um todo.

3.7 A Logística Reversa e o Contexto Ambiental

Segundo o Council of Logistisc Management (Associação Norte Americana para a Promoção da Logística e cadeia de Abastecimento), “Logística” é a parte do gerenciamento da cadeia de abastecimento que planeja, implementa e controla o fluxo de armazenamento eficiente e econômico de matérias-primas, materiais semiacabados e produtos acabados, bem como as informações a eles relativas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes (Leite, 2003).

No mesmo contexto Rogers e Tibben – Lembke (1999) definem a logística reversa como “o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência, do custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques de processo, os produtos

acabados, e as respectivas informações do ponto de consumo até ao ponto de origem com o objetivo de recapturar valor ou adequar o seu destino”.

Segundo Cavanha (2001), o processo logístico é muito abrangente e não se encerra na entrega do produto ao cliente, consumidor, usuário, mas no caminho completo de reciclagem dos objetos sem valor associado ao produto principal e até ao próprio principal, quando seu valor estiver em decrescimento para seu utilizador.

Leite (2003) faz uma comparação entre a cultura do consumo caracterizada pela idéia do ciclo “Compre-use-disponha”, adotado até agora, que fomenta as inovações e lançamentos de novos produtos, e a recente cultura ambientalista “Reduza-reúse-recicle”, que enaltece a maior responsabilidade das empresas com os impactos nos processos de produção e consumo dos produtos junto ao meio ambiente. O autor ressalta que na análise do ciclo de vida dos produtos, é levado em consideração o impacto ambiental gerado desde a extração das matérias-primas para suas fabricações, assim como no transporte até a distribuição direta e a reversa que acompanha a disposição final conhecida como “análise do produto do berço ao túmulo”.

A Figura 6 apresenta o esquema de fluxo representativo do sistema de logística reversa.

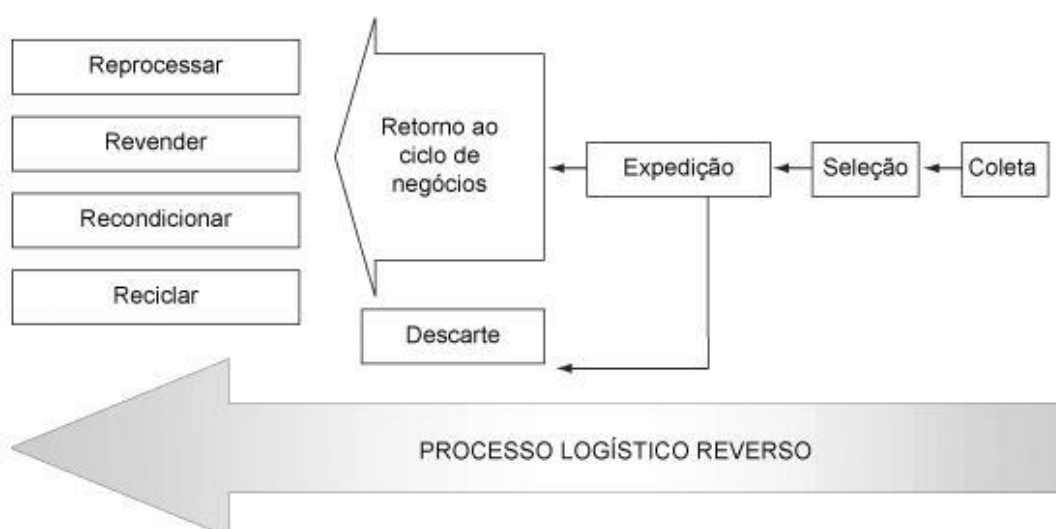


Figura 6 – Atividades típicas do processo logístico reverso. Fonte: adaptado de Lacerda (2003).

O grupo de estudos logísticos da Universidade de Santa Catarina/UFSC – GELOG entende que o conceito de logística reversa do pós-consumo não se resume somente a entrega do produto ao cliente, mas também o seu retorno, direcionando-o para ser descartado ou reutilizado.

Após o uso do consumidor final, o produto poderá seguir em três destinos diferentes: 1 - ir para um local seguro de descarte, como aterros sanitários e depósitos específicos; 2 – ir para um destino não seguro, sendo descartado na natureza, poluindo o ambiente; ou, por fim, 3 - voltar a uma cadeia de distribuição reversa.

Na logística reversa da pós-venda, parte do produto necessita retornar aos fornecedores por razões comerciais, garantias dadas pelos fabricantes, erros no processamento de pedidos e falhas de funcionamento.

As empresas necessitam de um setor de logística reversa, sob pena de perder clientes por não possuírem uma solução eficiente para lidar com pedidos de devolução e substituição de produtos.

A logística reversa agrega valor ao produto e garante diferencial competitivo. A confiança entre os dois extremos da cadeia de distribuição pode tornar-se a ponte chave para a próxima venda (GELOG, 2005).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta parte da dissertação estão apresentados os materiais empregados e suas caracterizações, bem como as metodologias, os processos e os ensaios analíticos utilizados ao longo da pesquisa.

4.1. Seleção dos Materiais

Para o desenvolvimento da pesquisa foi feita uma coleta do resíduo de borracha de pneus em uma indústria recauchutadora de pneus da cidade de Fortaleza-CE. Os resíduos de pneus são obtidos através de processo mecânico que se utiliza de equipamento composto de cilindros dotados de ranhuras que provocam o desgaste na superfície de rodagem dos pneus usados para a colocação posterior de uma nova capa de bandagem. Esse equipamento é denominado de “raspadeira”, o que justifica a denominação de “raspa” ao resíduo de borracha utilizado na pesquisa, que por ser muito fina, se presta principalmente a utilização, como substituto parcial do agregado miúdo.

Os agregados naturais, tanto o miúdo (areia quartzosa) quanto o graúdo (brita 1 tipo granítica), bem como o cimento (Portland/CPII E-32) utilizado na confecção dos corpos-de-prova de concreto foram fornecidos pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), local onde todos os corpos-de-prova foram moldados e submetidos ao processo de cura. O fornecimento deste material é feito através de empresa credenciada pelo IFCE.

4.2. Caracterização dos materiais

Para a caracterização dos materiais empregados foram realizados os ensaios de massa unitária (ABNT NBR NM 45, 2006), massa específica (NBR NM 53, 2009), material pulverulento (NBR NM 46, 2003) e granulometria (NBR NM 248, 2003) para a areia; enquanto que para a brita foram determinadas a massa unitária, a massa específica e a granulometria, conforme as normas NBR NM 45, NBR NM 53 e NBR NM 248 já citadas. Na raspa de borracha foram realizados os ensaios de massa unitária e massa específica, utilizando as normas NBR NM 45 e NBR NM 53, as mesmas utilizadas nos ensaios de caracterização de agregado miúdo.

Os resultados dos ensaios de caracterização foram fornecidos pelo Laboratório de Materiais de Construção do IFCE e estão apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de caracterização dos materiais empregados no estudo experimental.

Material	Massa unitária (kg/dm ³)	Massa específica (kg/dm ³)	Material pulverulento (%)	Módulo de finura	Dimensão máxima característica (mm)
Cimento	1,12	3,10	-	-	-
Areia	1,48	2,67	7,16	2,82	6,3
Brita	1,38	2,50	-	7,1	25
Borracha como raspa de pneu	0,41	1,81	-	3,43	4,8

Os ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos conforme a NBR 12142 (ABNT, 2010) foram realizados nos Laboratórios de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Os ensaios de resistência à compressão axial conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007) resistência à compressão diametral conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011), módulo estático de elasticidade conforme a NBR 8522 (ABNT, 2008) e resistência ao impacto em corpos rígidos conforme adaptação da NBR 15845 (ABNT, 2010) foram executados no Laboratório de Materiais de Construção da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

Todos os ensaios para os corpos-de-prova com ou sem borracha foram realizados aos 28 dias de idade.

4.3 Traços

Baseado nos resultados fornecidos nos ensaios de caracterização pelo Laboratório de Materiais de Construção do IFCE foram estabelecidos os traços de mistura (composição), sendo que para o concreto de referência (sem borracha) adotou-se uma estimativa de resistência a compressão axial mínima de 25 MPa aos 28 dias de idade, conforme recomendado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT (DNIT, 2009) para concretos de barreiras de segurança.

Experimentalmente, foram selecionados dois traços básicos unitários em massa para o concreto de referência (sem borracha), sendo o primeiro (T1) para um fator água/cimento de 0,45 e o segundo (T2) para um fator água/cimento de 0,50, conforme a Tabela 2 seguir.

Tabela 2 – Traços unitários em massa empregados no cálculo dos materiais por mistura em betoneira.

Traço	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Fator água/cimento
T1	1	1,43	2,36	0,45
T2	1	1,43	2,36	0,50

Particularmente optou-se em ambos os traços somente pela alteração do fator água/cimento (a/c). Essa estratégia foi adotada a fim de se avaliar a influência da quantidade de água em presença da raspa de borracha sobre a consistência do concreto. Neste caso considera-se que a borracha por suas propriedades físicas e químicas produzirá alterações no concreto no estado fresco, segundo o Slump Test, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Considerando a capacidade de 40 litros da betoneira, foram calculados os volumes dos materiais para um total de 30 litros (75% de ocupação), os quais foram convertidos em massa, para cada mistura na betoneira. Foram necessárias duas misturas consecutivas para o preenchimento de todos os corpos de prova, para cada traço.

A Tabela 4 apresenta as composições em massa para o fator água/cimento de 0,45.

Tabela 3 – Traços/betonada em massa para o fator água/cimento de 0,45.

Traço	% de borracha de pneu	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Borracha de pneu (kg)
Referência por betonada	0	13,32	19,05	31,44	5,99	-
Contendo raspa de pneu por betonada	10	13,32	17,14	31,44	5,99	2,33
	20	13,32	15,24	31,44	5,99	4,66

A Tabela 4 apresenta as composições em massa para o fator água/cimento de 0,50.

Tabela 4 – Traços/betonada em massa para o fator água/cimento de 0,50.

Traço	% de borracha de pneu	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Borracha de pneu (kg)
Referência por betonada	0	13,32	19,05	31,44	6,66	-
Contendo raspa de pneu por betonada	10	13,32	17,14	31,44	6,66	2,33
	20	13,32	15,24	31,44	6,66	4,66

4.4 Produção dos Corpos-de-Prova de Concreto

Experimentalmente, foram moldados 09 corpos-de-prova cilíndricos para concreto sem borracha e cada uma das 02 porcentagens de raspa de borracha, sendo estes para cada um dos 02 traços utilizados, totalizando 54 corpos de prova. De cada série de 09 corpos-de-prova por traço, 02 foram destinados ao ensaio de resistência à compressão axial, 02 foram utilizados no ensaio de compressão diametral e 03 no ensaio do módulo de elasticidade e 02 ficaram como reserva técnica, segundo a tabela abaixo:

Adicionalmente, para os ensaios de tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos foram moldados 02 corpos-de-prova no formato prismático retangular nas dimensões de 50 cm x 15 cm x 15 cm, para cada um dos traços citados e cada uma das porcentagens, totalizando 12 corpos-de-prova.

Finalmente foram moldados 05 corpos-de-prova no formato prismático de base quadrada com 20 cm de lado e 03 cm de espessura (placa), para cada um dos traços citados e cada uma das porcentagens, totalizando 30 corpos-de-prova, com a finalidade de avaliar a resistência ao impacto e indiretamente a tenacidade, por meio do ensaio de impacto de corpo rígido (NBR 15845/2010). Este ensaio é utilizado para determinação da resistência ao impacto de rochas para revestimento, porém devida a não existência de norma específica para blocos de concretos sujeitos a impacto de colisão, foi feita uma adaptação desse ensaio para verificação do aumento da capacidade de absorção de energia em caso de impactos no concreto. Esta modificação técnica foi utilizada anteriormente por Martins (2005) para avaliação das propriedades de blocos de concreto usados em pavimentação intertravada e por Fioriti (2007) e Kobayaschi e Pimentel (2010) na confecção de concreto para barreiras rodoviárias. No total foram confeccionados 96 corpos-de-prova.

Nas Tabelas 5 e 6 a seguir estão relacionadas os citados corpos-de-prova:

Tabela 5 – Relação de corpos-de-prova submetidos a ensaios de resistência para fator água/cimento 0,45.

Ensaio	CP	0 %	10%	20%
Resistência à compressão axial	10 cm x 20 cm	2	2	2
Resistência à tração por compressão diametral	10 cm x 20 cm	2	2	2
Módulo de elasticidade	10 cm x 20 cm	3	3	3
Reserva técnica	10 cm x 20 cm	2	2	2
Resistência a tração na flexão	50 cm x 15 cm x 15 cm	2	2	2
Impacto de corpo rígido	20 cm x 20 cm x 3 cm	5	5	5

Tabela 6 – Relação de corpos-de-prova submetidos a ensaios de resistência para fator água/cimento 0,50.

Ensaio	CP	0 %	10%	20%
Resistência à compressão axial	10 cm x 20 cm	2	2	2
Resistência à tração por compressão diametral	10 cm x 20 cm	2	2	2
Módulo de elasticidade	10 cm x 20 cm	3	3	3
Reserva técnica	10 cm x 20 cm	2	2	2
Resistência a tração na flexão	50 cm x 15 cm x 15 cm	2	2	2
Impacto de corpo rígido	20 cm x 20 cm x 3 cm	5	5	5

4.4.1 Descrição do ensaio de Impacto de corpo rígido

No ensaio de impacto de corpo rígido o equipamento utilizado (Figura 7) é semelhante ao usada por Martins (2005) e Kobayaschi e Pimentel (2010) e constitui-se de um tubo guia que possui perfurações transversais distanciadas de 5 cm, pelas quais, mediante a introdução ou retirada de um pino metálico, permite-se determinar a altura de queda livre de uma esfera metálica de 1,0 kg. A altura inicial adotada foi de 20 cm. A esfera é ligada a uma corda, a qual se apoia uma roldana, o que possibilita que a mesma possa ser suspensa.



Figura 7 - Equipamento empregado na realização do ensaio de impacto de corpo rígido. Fonte: Autor (2012).

A descrição (passo a passo) dos procedimentos utilizados no ensaio adaptado de impacto de corpo rígido é a seguinte:

- a) Inicialmente é feito o nivelamento da areia contida na caixa que vai abrigar a placa a ser golpeada pela esfera metálica. A placa deve ficar sobre a areia, nivelada e centralizada, de modo que a esfera caia sobre o centro de gravidade da placa.

b) A primeira queda da esfera inicia-se à altura de 0,20 m da superfície da placa, sendo as demais incrementadas sempre por 0,05 m; até altura em que haja a primeira fissura da placa.

c) Na altura e queda subsequentes verifica-se a fratura total da placa, normalmente em formato de cruz (Figura 8) e anota-se altura de queda correspondente. Este procedimento é realizado em cinco placas de mesmo traço e as alturas obtidas são anotadas em uma ficha para obtenção da correspondente média aritmética.



Figura 8 – Ilustração de uma típica placa fraturada durante o ensaio de impacto de corpo rígido. Fonte: Autor (2012).

A partir dessa metodologia a resistência ao impacto foi determinada em função da energia necessária para produzir a primeira fissura na face superior do corpo-de-prova (placa), conforme a Equação 1. A energia total (E_i) absorvida é obtida pelo somatório das energias acumuladas nos diversos impactos produzidos até a fissura total ou ruptura da placa.

$$E_i = m \times g \times h \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: E_i é a energia de impacto (J), m é a massa da esfera (kg), g é aceleração da gravidade local ($9,8\text{m/s}^2$) e h é a altura de queda correspondente do corpo-de-prova.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados para o Concreto no Estado Fresco – Slump Test

A avaliação das propriedades de plasticidade e coesão, responsáveis pela trabalhabilidade dos concretos com e sem borracha foi realizada por meio do Slump Test conforme a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998) para os fatores água cimento (a/c) de 0,45 e 0,50. Nesta etapa foram considerados como abatimento ideal: 60 mm $\pm$ 10 mm para o fator a/c de 0,45 e 70 mm $\pm$ 10 mm para o fator a/c de 0,50. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados de abatimento de tronco de cone (Slump Test) durante a determinação da plasticidade e coesão do concreto de cimento Portland.

Fator água cimento (a/c)	Teor de Borracha (%)	Abatimento (mm)	Variação do abatimento (%)
0,45	0	55	-
	10	30	- 45,45
	20	5	- 90,90
0,50	0	80	-
	10	60	- 25,00
	20	50	- 37,50

Considerando os abatimentos estabelecidos como ideal para cada fator a/c, observa-se no concreto referencial sem borracha, que quando adotado o fator água cimento (a/c) de 0,45, o mesmo apresenta boa trabalhabilidade (abatimento de 55 mm). Com a mudança do fator a/c para 0,50, o concreto de referência obtido se mostra mais plástico (abatimento de 80 mm), e ainda dentro do limite estabelecido para esta propriedade (70 mm $\pm$ 10 mm).

Comparativamente, nas amostras com raspas de borracha, para o fator água cimento de 0,45; os concretos com teores de 10% e 20% de borracha apresentam queda da trabalhabilidade (abatimentos de 30 mm e 5 mm, respectivamente), ficando bem abaixo dos valores estabelecidos como ideal ($60 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$).

Por outro lado, nos concretos com fator água cimento de 0,50, para o teor de 10% de borracha, observa-se um abatimento de 60 mm, ou seja, dentro da tolerância estabelecida ($70 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$), diferentemente do concreto com teor de 20% de raspa, onde o abatimento obtido de 50 mm situa-se abaixo do limite estabelecido como ideal. Este resultado é semelhante ao encontrado por Li *et al.* (2004) em seus estudos com o desenvolvimento de concretos modificados com resíduos de pneus (fibras e grânulos) e cimento Portland para amostras contendo 15% em volume de substituição de agregado por borracha em um concreto de referência formulado com um fator a/c de 0,50 e resistência a compressão de 40 Mpa aos 28 dias de cura. Os autores observaram ainda apresentam melhor desempenho em função da maior capacidade de transferência de carga neste estado de apresentação. Anteriormente, Eldin e Senouci (1993) encontraram o mesmo comportamento em concretos com substituição do agregado fino (1 mm) e gráúdo (6 mm, 19 mm, 25 mm e 38 mm) por resíduos de borracha. Propriedades como a resistência a compressão e a tração na flexão (com redução) e tenacidade (com aumento) foram também afetadas. Os autores atribuem o decréscimo das propriedades mecânicas a perda de aderência entre a matriz do cimento e as partículas de borracha. No tocante a resistência a compressão, Ali *et al.* (1993) e Rostami *et al.* (1993) observaram o mesmo efeito de significativa redução (> 35%) para concretos contendo resíduos de pneus em substituição aos agregados miúdo e gráúdo. Este valor é próximo ao encontrado por Khatib e Bayomy (1999) que encontraram slump próximo a zero para substituições do agregado miúdo por 40% de borracha moída de pneu. Bravo (2009) e Bravo e Brito (2012) e relataram perdas de apenas 10 a 15% da trabalhabilidade via slump test para 5% de substituição do agregado fino por borracha triturada de pneus em concretos com fator a/c médio de 0,45. Para a substituição do agregado gráúdo e finos e gráúdos simultaneamente os valores foram praticamente a metade do observado somente para os finos.

5.2 Resultados para o Concreto no Estado Endurecido

Os ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, resistência à compressão diametral, módulo de elasticidade e resistência ao impacto foram realizados aos 28 dias de idade a fim de caracterizar a influência da borracha sobre as propriedades do concreto nas condições estudadas. Os resultados obtidos estão apresentados a seguir.

5.2.1 Resistência à compressão axial

Os ensaios de resistência a compressão axial foram realizados segundo a norma técnica NBR 5739 (ABNT, 2007). Os resultados obtidos para os dois fatores água/cimento (a/c) empregados nas duas quantidades incorporadas de borracha de pneu de recauchutagem estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores da resistência à compressão axial em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem.

Fator água-cimento (a/c)	Teor de Borracha (%)	Resistência à compressão axial (MPa)	Variação da resistência (%)
0,45	0	25,35	-
	10	22,05	- 13,01
	20	12,82	- 49,42
0,50	0	21,60	-
	10	18,20	- 15,74
	20	12,80	- 40,74

A partir dos resultados apresentados na Tabela 8, verifica-se que o concreto com fator água cimento (a/c) 0,45 e teor de borracha de 10% apresenta uma redução da resistência à compressão axial de 13%, se comparado ao concreto de referência. Para o fator a/c de 0,50 o comportamento verificado é semelhante, e nesse caso correspondente a uma redução de 15,74%.

Por outro lado, ao se comparar as resistências dos concretos com teor de 10% de borracha para ambos os fatores a/c estudados, ou seja, 22,05 MPa para $a/c = 0,45$ e 18,20 MPa para $a/c = 0,50$, verificam-se valores relativamente próximos. Esse comportamento se repete para os concretos contendo 20% de borracha, onde as resistências medidas para ambos os fatores a/c foram praticamente idênticas, ou seja 12,82 MPa para $a/c = 0,45$ e 12,80 MPa para $a/c = 0,50$. Neste caso pode-se verificar que o aumento do fator a/c de 0,45 para 0,50 nos concretos com o mesmo teor de borracha pouco influenciou na resistência a compressão axial dos materiais, sendo este efeito significativo apenas para o concreto de referência, pois para $a/c = 0,50$ o concreto produzido não atingiu o valor de 25 MPa referendado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2009). Há que se destacar o efeito mais negativo na propriedade para a substituição com 20 % de borracha, pois nesta condição experimental foram obtidas as maiores reduções da resistência à compressão (49,42 % para a/c de 0,45 e 40,74 % para a/c de 0,50). De forma semelhante Ali *et al.* (1993) e Rostami *et al.* (1993) observaram um efeito significativa de redução ($> 35\%$) da resistência à compressão para concretos contendo resíduos de pneus em substituição aos agregados miúdo e graúdo. Neste contexto Khatib e Bayomy (1999), Topçu (1995), Li *et al.* (2004) relataram reduções da resistência a tração entre 50% e 65% para adições de grandes agregados de borracha ao concreto (0 a 45 % em volume) bem maiores que as observadas quando do emprego de finas partículas. Os autores atribuem os resultados às perdas ainda maiores de aderência observadas com o aumento do tamanho da partícula, como já relatado por Eldin e Senoucci (1993). Bravo e Brito (2012) relataram perdas máximas de 50 % de resistência para concretos formulados (a/c médio de 0,45) para substituições de agregados finos, graúdos e ambos por quantidades de 5%, 10% e 15% de borracha moída de pneu ($0,44 \text{ g/m}^3$ de massa específica).

5.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os resultados obtidos para os concretos de cimento Portland endurecidos aos 28 dias de idade para os dois fatores água/cimento (a/c) empregados e as duas quantidades substituídas de borracha de pneu de recauchutagem quanto a

resistência à tração por compressão diametral segundo a norma ABNT NBR 7222 (ABNT, 2011) estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores da resistência à tração por compressão diametral em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem.

Fator água-cimento (a/c)	Teor de Borracha (%)	Resistência à compressão diametral (MPa)	Variação da resistência (%)
0,45	0	6,46	-
	10	5,74	- 11,14
	20	6,41	- 0,77
0,50	0	4,36	-
	10	3,49	- 19,95
	20	4,14	- 5,04

Como base nos resultados apresentados na Tabela 9 a utilização de borracha de pneus em substituição parcial de agregado(s) nos concretos de cimento Portland leva a redução da resistência à tração por compressão diametral, independente do fator a/c ou do teor de borracha empregado quando comparado ao concreto convencional de referência.

Particularmente, nesse estudo, quando foi adotado o fator a/c de 0,50 observa-se uma queda da resistência à tração por compressão diametral para todos os teores de borracha (0%, 10% e 20%) se comparado ao concreto onde foi adotado o fator a/c de 0,45. É possível que a maior presença da fibra de borracha, que incorpora ao concreto uma menor rigidez, associada a um menor fator a/c, resulte em uma perda menor da resistência à tração por compressão diametral, se comparado aos respectivos concretos de referência. Li *et al.* (2004) observaram reduções de 4% da resistência à tração por compressão diametral em concretos (a/c = 0,50) substituídos com agregado graúdo por 15% de fibras de borracha de pneus e de cerca de 30% para o uso de borracha moída.

5.2.3 Módulo estático de elasticidade

Os resultados obtidos segundo a norma técnica NBR 8522 (ABNT, 2008) na amostragem dos concretos de cimento Portland endurecidos aos 28 dias de idade para os dois fatores água/cimento (a/c) empregados e as duas quantidades incorporadas de borracha de pneu de recauchutagem quanto à determinação do módulo estático de elasticidade estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores do módulo estático de elasticidade em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem.

Fator água cimento (a/c)	Teor de Borracha (%)	Módulo estático de elasticidade (GPa)	Variação do módulo de elasticidade (%)
0,45	0	45,26	-
	10	41,89	- 7,44
	20	35,39	- 21,80
0,50	0	50,51	-
	10	42,31	- 16,23
	20	33,00	- 34,66

Em geral, para os fatores água/cimento testados (0,45 e 0,50) nos dois teores de borracha empregados (10% e 20 %) observaram-se quedas dos módulos estáticos de elasticidade quando comparadas aos concretos de referência, sendo este comportamento mais pronunciado para o fator a/c de 0,50. Comparativamente observa-se que independente do fator a/c adotado os valores de módulo de elasticidade são muito próximos para cada % de borracha utilizada na substituição parcial da areia na composição do concreto com desvios máximos de 1,0 % e 6,7 % para as substituições de 10% e 20% em borracha, respectivamente. Estes resultados são semelhantes aos relatados por Kobayaschi e Pimentel (2010) que encontraram módulos de elasticidade de 46,15 GPa; 45,20 GPa e 45,17 GPa,

respectivamente, para substituições de 0%, 5% e 10% de agregado por borracha em concretos produzidos com fator a/c de 0,62. Resultados similares foram relatados por Goulias e Ali (1997), Segres e Joeques (2000) e Hernández-Olivares et al. (2002), Athan e Sevim (2008).

5.2.4 Resistência à tração na flexão

Os resultados obtidos na amostragem dos concretos de cimento Portland endurecidos aos 28 dias de idade para os dois fatores água/cimento (a/c) empregados e as duas quantidades incorporadas de borracha de pneu de recauchutagem quanto à resistência à tração em corpos-de-prova prismáticos segundo a NBR 12142 (ABNT, 2010) estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem.

Fator água cimento (a/c)	Teor de Borracha (%)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Variação da resistência (%)
0,45	0	3,79	-
	10	3,40	- 10,29
	20	3,01	- 20,58
0,50	0	5,16	-
	10	3,20	- 37,98
	20	3,40	- 34,10

Os resultados apresentados na Tabela 11 para ambos os fatores a/c empregados mostraram perdas de resistência à tração na flexão, principalmente para o concreto com maior teor de borracha (20%), correspondentes a reduções de 20,58% para um a/c de 0,45 e 34,10% para um a/c de 0,50. Campos e Jacintho (2010) em seus estudos com concreto com teores de 5% e 10% em substituição

parcial a areia encontraram perdas de resistência de 20% no material com 10% de borracha aos 28 dias de idade, semelhantes às encontradas nesta pesquisa para um fator a/c de 0,45 e uso de 20% de raspa de pneu de recauchutagem.

5.2.5 Impacto de corpo rígido

Os resultados obtidos na amostragem dos concretos de cimento Portland endurecidos aos 28 dias de idade para os dois fatores água/cimento (a/c) empregados e as duas quantidades incorporadas de borracha de pneu de recauchutagem quanto à resistência ao impacto de corpo rígido adaptado a partir da NBR 15845 (ABNT, 2010) estão apresentados conforme a Tabela 12.

Tabela 12 – Valores da resistência ao impacto de corpo rígido em amostras de concreto de cimento Portland endurecido aos 28 dias de idade contendo borracha de pneus de recauchutagem.

Fator água cimento (a/c)	Teor de Borracha (%)	Altura para 1ª fissura (cm)	Altura para ruptura (cm)	Resistência ao impacto (J)	Resistência ao impacto média (J)	Acúmulo de energia (%)
0,45	0	55	60	27,44	27,44	-
		55	60	27,44		
		55	60	27,44		
		55	60	27,44		
		55	60	27,44		
	10	65	70	39,69	42,49	54,85
		65	70	39,69		
		70	75	46,55		
		65	75	39,69		
		70	75	46,69		
	20	75	80	53,90	55,46	102,11
		75	80	53,90		
		75	80	53,90		
		75	80	53,90		
		80	85	61,74		
0,50	0	55	60	27,44	25,28	-
		55	60	27,44		
		55	60	27,44		
		50	55	22,05		
		50	55	22,05		
	10	85	90	70,07	65,07	157,40
		85	90	70,07		
		80	85	61,74		
		80	85	61,74		
		80	85	61,74		
	20	80	85	61,74	58,60	131,80
		80	85	61,74		
		80	85	61,74		
		75	80	53,90		
		75	80	53,90		

Os resultados apresentados na Tabela 12 mostraram que para ambos os fatores água/cimento adotados a presença da borracha de pneu no concreto aumenta significativamente a capacidade de absorção de energia, se comparado aos concretos de referência, o que se contrapõe as perdas das propriedades mecânicas verificadas anteriormente neste estudo. Os ganhos observados de resistência ao impacto foram de 15,05 J e 28,02 J para as substituições com 10% e 20% de borracha de pneu no concreto produzido com fator a/c de 0,45, os quais correspondem a variações percentuais (acúmulos) das energias requeridas ao impacto de 54,85% e 102,41%. Estas variações são bastante significativas para os tipos de aplicações propostas neste trabalho, pois taxas proporcionais de duplicação da energia requerida a fissura do concreto em sistemas rodoviários (barreiras, prismas de sinalização, defensas de base de postes) podem ser consideradas muito promissoras. Segundo Mehta e Monteiro (1994), a mais importante contribuição do reforço do concreto com fibra (e a borracha se enquadra nesta categoria) não se relaciona a melhorias de resistência e sim na tenacidade à flexão.

De forma semelhante para o concreto com fator a/c de 0,50, os valores de ganho de energia ao impacto foram de 39,79 J e 33,32 J para substituições com 10% e 20% de borracha de pneu, os quais correspondem a variações percentuais (acúmulos) das energias de 157,40% e 131,80%. Estes valores são ainda mais favoráveis que àqueles encontrados para o fator a/c de 0,45, quando da aplicação em equipamentos de proteção à colisão no setor rodoviário visando redução dos danos materiais e humanos em acidentes automobilísticos.

Topçu e Avcular (1997a,b) relataram comportamentos semelhantes de aumento da resistência ao impacto quando agregados de borracha são incorporados as composições de concreto. O aumento da resistência foi atribuído a maior capacidade da borracha em absorver energia (Eldin e Senouci, 1993; Topçu e Avcular 1995). Athan e Sevim (2008) compararam o comportamento de barreiras de concreto New Jersey a impacto de colisão para cinco diferentes (20%, 40%, 60%, 80% e 100%) quantidades de borracha (11 a 22 mm) em substituição ao agregado graúdo na composição do concreto com a/c = 0,55.

Os resultados obtidos mostraram absorções de energia em relação ao concreto de referência de 46,14%, 70,46%, 91,33%, 157,23% e 186,82%, respectivamente.

Para finalizar, a partir dos resultados obtidos nesta parte do trabalho, destaca-se que o emprego experimental de uma mais alta porcentagem de substituição (20%) do agregado miúdo (areia) por raspa de pneus de recauchutagem (resíduo de borracha) para a aplicação proposta permite ou conduz a contextos ambientais relacionados a: *i* – remoção de uma maior quantidade de resíduo ambiental nocivo do meio ambiente, *ii* – redução do uso de agregado miúdo nos processos de fabricação do concreto, minimizando a exploração das jazidas naturais (leitos dos rios, morros, encostas) comumente utilizadas para este fim, *iii* – perspectivas de ganhos econômicos decorrentes da possibilidade de utilização de um resíduo ambiental poluente e disposto inadequadamente no meio ambiente em detrimento da areia, que a princípio, possui maior custo de comercialização, *iv* – duplo ganho ecológico quando se considera a possibilidade de emprego de um resíduo (raspa de borracha) proveniente do processo de recauchutagem dos pneus inservíveis, e *v* – atendimento ao Art. 2 da resolução CONAMA Nº 416/2009, conforme anexo.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

O concreto com substituição de borracha de pneus de recauchutagem sofre redução em suas resistências mecânicas de compressão axial, compressão diametral, módulo estático de elasticidade e tração à flexão se comparado aos concretos de referência. A perda de resistência cresce com o aumento do teor de borracha, de 10% para 20 %, em substituição a areia.

Para uma substituição de areia por 10% de borracha de pneus de recauchutagem na composição de um concreto de cimento Portland os valores das propriedades mecânicas de resistência à compressão axial e módulo estático de elasticidade se mostraram superiores aos encontrados com 20% de borracha na composição, para ambos os fatores água/cimento (0,45 e 0,50) estudados. Entretanto para a resistência à compressão diametral o comportamento é inverso, com valores de resistência a 20% levemente superiores aos encontrados para a substituição com 10% de borracha.

Com relação às características de resistência a tração na flexão observam-se perdas desta propriedade para ambos os fatores a/c empregados (0,45 e 0,50) no intervalo de 10% a 20% de substituição por borracha na composição do concreto, sendo as reduções de resistência para o fator a/c de 0,50, superiores aos valores observados para 20% e 10% de borracha no concreto com fator a/c = 0,45.

O ensaio adaptado de impacto de corpo rígido permitiu observar que a substituição da areia pela borracha de pneu de recauchutagem ao concreto nos valores de 10% e 20% para os fatores a/c empregados de 0,45 e 0,50 aumenta significativamente a capacidade de absorção de energia do material em caso de impactos sucessivos, tornando-o muito promissor para as aplicações relacionadas aos sistemas rodoviários de proteção a colisões (barreiras, prismas de sinalização e defensas de base de postes).

Ainda sobre o ensaio adaptado de impacto de corpo rígido são observados ganhos de 54,85% e 102,41% de absorção de energia pelo concreto quando se adota um fator água/cimento de 0,45 para percentuais de 10% e 20 % borracha, respectivamente. Para um fator a/c de 0,50 o efeito de absorção de energia é ainda mais significativo para estas substituições, neste caso correspondente a acúmulos

de energias de 157,40% e 131,80% para empregos de 10% e 20% de borracha.

Sob uma perspectiva ecológica, de segurança, da economia e da sustentabilidade ambiental os resultados apresentados neste trabalho para a substituição do agregado areia por 10% e principalmente por 20% de raspa de borracha de pneus de recauchutagem em um concreto de cimento Portland podem produzir efeitos positivos em relação a:

1. mitigação das avarias nos veículos automotores;
2. redução de lesões, e em perspectiva de óbitos, nos passageiros de veículos sob colisão;
3. manutenção dos sistemas elétricos pelos menores danos produzidos em postes de sistema de transmissão com a não interrupção do fornecimento de energia elétrica;
4. redução do passivo ambiental pela retirada dos pneus das ruas e outros ambientes sujeitos a este tipo de poluição;
5. ganhos econômicos em função do desenvolvimento de novos processos de reciclagem, seja pelo custo da substituição do agregado pela borracha, seja pela redução do custo final do produto ou processo consignado;
6. proposição de alternativas tecnológicas que permitam o atendimento mais sustentável para o reuso de pneus para as empresas que atuam direta ou indiretamente com este material e seus resíduos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa sugere-se:

- a) avaliar o desempenho do concreto adicionado de borracha de pneu de recauchutadora em defensas de postes de linha de transmissão e distribuição de energia elétrica, prismas sinalizadores de vias, etc. sujeito a colisão por veículos desgovernados, através de ensaios dinâmicos, e compará-los aos resultados já obtidos em barreiras rodoviárias.
- b) Avaliar o uso do concreto adicionado de borracha de pneu de recauchutadora na execução de contra-pisos de apartamentos, por exemplo, considerando que a presença deste componente polimérico no concreto, além de aumentar a resistência ao impacto (tenacidade), torna o mesmo isolante acústico, reduzindo a transmissão de ruídos entre ambientes.
- c) Testar outros teores de borracha não utilizados nessa pesquisa, abaixo de 10% e intermediários entre 10 e 20%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, C.; CAMACHO, N.; REYES, J.; FELIU, J. L.; HERNÁNDEZ, M. Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing. **Composite Structures**, v. 71, p. 439-446, 2005.

ALBUQUERQUE, A. C.; ANDRADE, M. A. S.; ANDRADE, W. P.; SILVA, O. C.; MARTINS, W. **Adição da borracha de pneu ao concreto compactado com rolo**. In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis, p. 87-100, 2004. IBRACON (em CD-ROM).

ALI, N. A.; AMOS, A. D.; ROBERTS, M. **Use of ground rubber tyres in Portland cement concrete**. Proceedings of the International Conference on Concrete. University of Dundee, United Kingdom, p. 379-390, 1993.

ATAHAN, O. A.; SEVIM, U. K. Testing and Comparison of concrete barriers containing shredded waste tire chips. **Materials Letters**, v. 62, p. 3754-3757, 2008.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - BRASIL – ANFAVEA. Disponível em: < <http://www.anfavea.gov.br> > acesso em 10 de abr. 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregado para concreto: especificação**. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251. **Agregados em estado solto: determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: **Concreto: determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação**. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: **Peças de concreto para pavimentação**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12118: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria**. Rio de Janeiro, 2011. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: **Concreto: determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 1991. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento**: Procedimento. Rio de Janeiro, 1996. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14885: **Segurança no tráfego – barreiras de concreto**. Rio de Janeiro, 2010. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: **Rochas para revestimento – determinação da resistência ao impacto de corpo de prova duro**. Rio de Janeiro, 2010. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: **Determinação do material fino que passa na peneira 75 µm por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: **Agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: **Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. São Paulo. Ecopontos. Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 10 de mai. 2011.

BRAVO, M. **Concrete with incorporation of aggregates from grinded used rubber tyres. Durability related performance**. Master dissertation in civil engineering. Technical University of Lisbon, Portugal, 132 p.

BRAVO, M.; BRITO, J. Concrete made with use tyre aggregate: durability-related performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 25, p. 42-50, 2012.

CAMPOS, W. C.; JACINTHO, A. E. P. G. A. **Concreto com adição de fibras de borracha: um estudo frente às resistências mecânicas**. IN: Anais do XV Encontro de Iniciação Científica da PUC – Campinas. Campinas – SP, 2010.

CAVANHA FILHO, A. O. **Logística: Novos Modelos**. Qualitymark. Edições, Rio de Janeiro, 2001.

CHOUBANE, B. G. A.; SHOLAR, J. A.; MUSSELMAN, G. C. Ten-years performance evolution of asphalt – Rubber surface mixes, **Transportation Research record. TRR**. 1999.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. São Paulo. Ficha técnica: pneus. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 10 de mai.2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 258, Brasília, 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 301, Brasília, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 416, Brasília, 2009.

COELCE – Companhia de Eletrificação do Estado do Ceará. Disponível em: <<https://www.coelce.com.br/>> acesso em: 12 de jan. 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. Especificação 2009 – Revisão da norma DNER – PRO 176/1994. Barreiras rodoviárias de concreto.

Eldin, N.; Senouci, A. Rubber –tire practices as concrete aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 5, n. 4, p. 478-496, 1993.

FIGUEREDO, A. D. **Parâmetros de controle e dosagem do concreto projetado com fibras de aço.** 342p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo.** 198 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

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, 126 p, 2007.

GELOG – Grupo de Estudos Logísticos da Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC < disponível em <http://logistica%reversa.polf> > acesso em: 10 de jan. 2012.

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneu**. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

GOULIAS, D. G. ALI, A. H. Evaluation of rubber-filled concrete and correlation between destructive and nondestructive testing results. **Cement, Concrete Aggregates**, v. 20, n. 1, p. 140-144, 1998.

HEITZMAN, M. **Design and construction of asphalt paving materials with crumb rubber modifier**. In: Transportation Research Record, National Research Council, p. 1-8, Washington, DC. 1992.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BARLUENGA, G.; BOLLATI, M.; WITOSZEK, B. Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 32, n. 10, p. 1587-1596, 2002.

INSTITUTO VIA VIVA. São Paulo. **Tecnologia e serviços**. Disponível em: <<http://www.viaviva.org.br>>. Acesso em: 16.fev. 2011.

KHATIB, Z.K.; BAYOMY, F. M. Rubberized Portland Cement Concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 11, n. 3, p. 206-213, 1999.

KOBAYASHI, A. G.; PIMENTEL, L. L. **Avaliação da viabilidade técnica de concretos contendo borracha, aplicados a sinalização rodoviária**. In: Anais do XV Encontro de Iniciação científica da PUC – Campinas, 26 e 27 de outubro de 2010.

LACERDA, L. **Logística reversa: uma visão sobre conceitos básicos e as práticas operacionais**. In: Fleury, P. F.; Figueiredo, K.; Wanke, P. (Organizadores). Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos. Ed. Atlas, São Paulo, 2003.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

MARQUES, M. L. **Avaliação do comportamento da argamassa adicionada de diferentes granulometrias de borracha após tratamento superficial**. In: 47^o Congresso Brasileiro do Concreto, Recife-PE, 2005.

MARQUES, M. L.; MARQUES, A. C.; AKASAKI, J. L.; SILVA, E. J. **Influência de diferentes granulometrias de fibras de borracha de pneus em argamassas**. In: 46^o Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis, p. 973-981, 2004. IBRACON (em CD-ROM).

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução: Salvador E. Giamusso. 2^a Edição, Ed. Pini, São Paulo, 1997.

LI, G.; STUBBLEFIELD, M. A.; GARRICK, G.; EGGERS, J.; ABADIE, C.; HUANG, B. Development of waste tire modified concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 2283-2289, 2004.

MARTINS, I. R. F. **Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu**. 149 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e materiais**. Pini Editora, São Paulo, SP, 1994.

MORILHA Jr. A.; GRECA, M. R. **Considerações Relacionadas ao Asfalto Ecológico – Ecoflex. IEP**. Apostila sobre Asfalto Borracha, Instituto de Engenharia do Paraná, 2003.

ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto borracha em obras de pavimentação**. 2000. 260p. Tese (doutorado em transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S/A. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/>> acesso em 10 de jan. 2012.

PINHEIRO, E. G. **Modelos numéricos aplicados à vulcanização de pneus**. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBRE, R. S. **Reserve logistic trends and practices. University of Nevada, reid-center for logistics management**. < disponível em: <http://equinox.unr.edu/homepage/logis.pdf>, acesso em 05. Mai. 2012.

ROSTAMI, H.; LEPORE, J.; SILVERSTRAIM, T.; ZUNDI, I. Use of recycled rubber tires in concrete. **Proceedings of the International Conference on Concrete**. University of Dundee, United Kingdom, p. 391-399, 1993.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: < <http://www.infosecex.mdc.gov.br> > acesso em 02 de abr. 2011

SEGRE, N.; JOEKES, I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 9, p. 1421-1425.

SILVA, J. R. M. **Destinação final de pneus inservíveis: Panorama mundial e práticas brasileiras**. 128 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

TARCKIANI, A. L. S. **Fornos Cimenteiros São um Bom Destino Final**. O Estadão, 28 de agosto de 2003. Disponível em: < <http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2003/ago/28/96.htm> > acesso em 01 de ago. 2011.

TOPÇU, I. B. The properties of rubberized concretes. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 2, p. 304-310, 1995.

TOPÇU, I. B.; AVCULAR, N. Collision behaviours of rubberized concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 12, p. 1893-1898, 1997a.

TOPÇU, I. B.; AVCULAR, N. Analysis of rubberized concrete as a composite material. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 12, p. 1893-1898, 1997b.

TOUTANJI, H. A. The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 18, p. 135-139, 1996.

VITA, M. O.; MACEDO, P. C.; AKASAKI, J. L. FAZZAN, J. V.; MARTINS, I. R. F. **Influência da incorporação de diferentes porcentagens de resíduos de borracha de pneu no concreto de alto desempenho**. In: Anais da XXXII Jornada Sulamericana de Engenharia Estrutural, Campinas - SP, 2006.

ANEXO

Resolução CONAMA nº 416 de 30 de setembro de 2009

Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências.

(Publicação – Diário Oficial da União – 01/10/2009)

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pelo art. 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e [1]

Considerando a necessidade de disciplinar o gerenciamento dos pneus inservíveis;

Considerando que os pneus dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que podem resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública;

Considerando a necessidade de assegurar que esse passivo seja destinado o mais próximo possível de seu local de geração, de forma ambientalmente adequada e segura;

Considerando que a importação de pneumáticos usados é proibida pelas Resoluções nºs 23, de 12 de dezembro de 1996, e 235, de 7 de janeiro de 1998, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; [2] [3]

Considerando que os pneus usados devem ser preferencialmente reutilizados, reformados e reciclados antes de sua destinação final adequada;

Considerando ainda o disposto no art. 4º e no anexo 10-C da Resolução CONAMA nº 23, de 1996, com a redação dada pela Resolução CONAMA nº 235, de 7 de janeiro de 1998;

Considerando que o art. 70 do Decreto nº 6.514, de 22 de julho 2008, impõe pena de multa por unidade de pneu usado ou reformado importado; [4]

Considerando que a liberdade do comércio internacional e de importação de matéria-prima não devem representar mecanismo de transferência de passivos ambientais de um país para outro,

RESOLVE:

Art. 1º - Os fabricantes e os importadores de pneus novos, com peso unitário superior a 2,0 kg (dois quilos), ficam obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução.

§1º Os distribuidores, os revendedores, os destinadores, os consumidores finais de pneus e o Poder Público deverão, em articulação com os fabricantes e importadores, implementar os procedimentos para a coleta dos pneus inservíveis existentes no País, previstos nesta Resolução.

§2º Para fins desta resolução, reforma de pneu não é considerada fabricação ou destinação adequada.

§ 3º A contratação de empresa para coleta de pneus pelo fabricante ou importador não os eximirá da responsabilidade pelo cumprimento das obrigações previstas no caput deste artigo.

Art. 2º - Para os fins do disposto nesta Resolução, considera-se:

I - Pneu ou pneumático: componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado em uma roda de veículo e contendo fluido(s) sobre pressão, transmite tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo;

II - Pneu novo: pneu, de qualquer origem, que não sofreu qualquer uso, nem foi submetido a qualquer tipo de reforma e não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações, classificado na posição 40.11 da Nomenclatura Comum do Mercosul-NCM;

III - Pneu usado: pneu que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste, classificado na posição 40.12 da NCM, englobando os pneus reformados e os inservíveis;

IV - Pneu reformado: pneu usado que foi submetido a processo de reutilização da carcaça com o fim específico de aumentar sua vida útil, como:

a) recapagem: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem;

b) *recauchutagem*: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem e dos ombros; e

c) *remoldagem*: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem, ombros e toda a superfície de seus flancos.

V - *pneu inservível*: pneu usado que apresente danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma;

VI - *destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis*: procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outra(s) técnica(s) admitida(s) pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VII - *Ponto de coleta*: local definido pelos fabricantes e importadores de pneus para receber e armazenar provisoriamente os pneus inservíveis;

VIII - *Central de armazenamento*: unidade de recepção e armazenamento temporário de pneus inservíveis, inteiros ou picados, disponibilizada pelo fabricante ou importador, visando uma melhor logística da destinação;

IX - *mercado de reposição de pneus* é o resultante da fórmula a seguir:

$MR = (P + I) - (E + EO)$, na qual:

MR = Mercado de Reposição de pneus;

P = total de pneus produzidos;

I = total de pneus importados;

E = total de pneus exportados; e

EO = total de pneus que equipam veículos novos.

Art. 3º - A partir da entrada em vigor desta resolução, para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível.

§1º - Para efeito de controle e fiscalização, a quantidade de que trata o caput deverá ser convertida em peso de pneus inservíveis a serem destinados.

§2º Para que seja calculado o peso a ser destinado, aplicar-se-á o fator de desgaste de 30% (trinta por cento) sobre o peso do pneu novo produzido ou importado.

Art. 4º - Os fabricantes, importadores, reformadores e os destinadores de pneus inservíveis deverão se inscrever no Cadastro Técnico Federal-CTF, junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA.

Art. 5º - Os fabricantes e importadores de pneus novos deverão declarar ao IBAMA, numa periodicidade máxima de 01 (um) ano, por meio do CTF, a destinação adequada dos pneus inservíveis estabelecida no art. 3º desta Resolução.

§1º O não cumprimento do disposto no caput deste artigo poderá acarretar a suspensão da liberação de importação.

§2º O saldo resultante do balanço de importação e exportação poderá ser compensado entre os fabricantes e importadores definidos no art. 1º desta Resolução, conforme critérios e procedimentos a serem estabelecidos pelo IBAMA.

§3º Cumprida a meta de destinação estabelecida no art. 3º desta Resolução, o excedente poderá ser utilizado para os períodos subsequentes.

§4º O descumprimento da meta de destinação acarretará acúmulo de obrigação para o período subsequente, sem prejuízo da aplicação das sanções cabíveis.

§5º Para efeito de comprovação junto ao IBAMA, poderá ser considerado o armazenamento adequado de pneus inservíveis, obrigatoriamente em lascas ou picados, desde que obedecidas às exigências do licenciamento ambiental para este fim e, ainda, aquelas relativas à capacidade instalada para armazenamento e o prazo máximo de 12 meses para que ocorra a destinação final.

Art. 6º - Os destinadores deverão comprovar periodicamente junto ao CTF do IBAMA, numa periodicidade máxima de 01 (um) ano, a destinação de pneus inservíveis, devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente.

Art. 7º - Os fabricantes e importadores de pneus novos deverão elaborar um plano de gerenciamento de coleta, armazenamento e destinação de pneus inservíveis (PGP), no prazo de 6 meses a partir da publicação desta Resolução, o qual deverá ser amplamente divulgado e disponibilizado aos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA.

§ 1º O PGP deverá conter no mínimo os seguintes requisitos:

I - descrição das estratégias para coleta dos pneus inservíveis, acompanhada de cópia de eventuais contratos, convênios ou termos de compromisso, para este fim;

II - indicação das unidades de armazenagem, informando as correspondentes localização e capacidade instalada, bem como informando os dados de identificação do proprietário, caso não sejam próprias;

III - descrição das modalidades de destinação dos pneus coletados que serão adotadas pelo interessado;

IV - descrição dos programas educativos a serem desenvolvidos junto aos agentes envolvidos e, principalmente, junto aos consumidores;

V - número das licenças ambientais emitidas pelos órgãos competentes relativas às unidades de armazenamento, processamento, reutilização, reciclagem e destinação; e

VI - descrições de programas pertinentes de auto-monitoramento.

§ 2º O PGP deverá incluir os pontos de coleta e os mecanismos de coleta e destinação já existentes na data da entrada em vigor desta Resolução.

§ 3º Anualmente, os fabricantes e importadores de pneus novos deverão disponibilizar os dados e resultados dos PGPs.

§ 4º Os PGPs deverão ser atualizados sempre que seus fundamentos sofrerem alguma alteração ou o órgão ambiental licenciador assim o exigir.

Art. 8º - Os fabricantes e os importadores de pneus novos, de forma compartilhada ou isoladamente, deverão implementar pontos de coleta de pneus usados, podendo envolver os pontos de comercialização de pneus, os municípios, borracheiros e outros.

§ 1º Os fabricantes e os importadores de pneus novos deverão implantar, nos municípios acima de 100.000 (cem mil) habitantes, pelo menos um ponto de coleta no prazo máximo de até 01 (um) ano, a partir da publicação desta Resolução.

§ 2º Os municípios onde não houver ponto de coleta serão atendidos pelos fabricantes e importadores através de sistemas locais e regionais apresentados no PGP.

Art. 9º - Os estabelecimentos de comercialização de pneus são obrigados, no ato da troca de um pneu usado por um pneu novo ou reformado, a receber e armazenar temporariamente os pneus usados entregues pelo consumidor, sem qualquer tipo de ônus para este, adotando procedimentos de controle que identifiquem a sua origem e destino.

§ 1º Os estabelecimentos referidos no caput deste artigo terão prazo de até 1 (um) ano para adotarem os procedimentos de controle que identifiquem a origem e o destino dos pneus.

§ 2º Os estabelecimentos de comercialização de pneus, além da obrigatoriedade do caput deste artigo, poderão receber pneus usados como pontos de coleta e armazenamento temporário, facultada a celebração de convênios e realização de campanhas locais e regionais com municípios ou outros parceiros.

Art. 10 - O armazenamento temporário de pneus deve garantir as condições necessárias à prevenção dos danos ambientais e de saúde pública.

Parágrafo único. Fica vedado o armazenamento de pneus a céu aberto.

Art. 11 - Com o objetivo de aprimorar o processo de coleta e destinação dos pneus inservíveis em todo o país, os fabricantes e importadores de pneus novos devem:

I - divulgar amplamente a localização dos pontos de coleta e das centrais de armazenamento de pneus inservíveis;

II - incentivar os consumidores a entregar os pneus usados nos pontos de coleta e nas centrais de armazenamento ou pontos de comercialização;

III - promover estudos e pesquisas para o desenvolvimento das técnicas de reutilização e reciclagem, bem como da cadeia de coleta e destinação adequada e segura de pneus inservíveis; e

IV - desenvolver ações para a articulação dos diferentes agentes da cadeia de coleta e destinação adequada e segura de pneus inservíveis.

Art. 12. Os fabricantes e os importadores de pneus novos podem efetuar a destinação adequada dos pneus inservíveis sob sua responsabilidade, em instalações próprias ou mediante contratação de serviços especializados de terceiros.

Parágrafo único. A simples transformação dos pneus inservíveis em lascas de borracha não é considerada destinação final de pneus inservíveis.

Art. 13 - A licença ambiental dos destinadores de pneus inservíveis deverá especificar a capacidade instalada e os limites de emissão decorrentes do processo de destinação utilizado, bem como os termos e condições para a operação do processo.

Art. 14 - É vedada a destinação final de pneus usados que ainda se prestam para processos de reforma, segundo normas técnicas em vigor.

Art. 15. É vedada a disposição final de pneus no meio ambiente, tais como o abandono ou lançamento em corpos de água, terrenos baldios ou alagadiços, a disposição em aterros sanitários e a queima a céu aberto.

Parágrafo único. A utilização de pneus inservíveis como combustível em processos industriais só poderá ser efetuada caso exista norma específica para sua utilização.

Art. 16. O IBAMA, com base nos dados do PGP, dentre outros dados oficiais, apresentado pelo fabricante e importador, relatará anualmente ao CONAMA, na terceira reunião ordinária do ano, os dados consolidados de destinação de pneus inservíveis relativos ao ano anterior, informando:

I - a quantidade nacional total e por fabricante e importador de pneus fabricados e importados;

II - o total de pneus inservíveis destinados por unidade da federação;

III - o total de pneus inservíveis destinados por categoria de destinação, inclusive armazenados temporariamente; e

IV - dificuldades no cumprimento da presente resolução, novas tecnologias e soluções para a questão dos pneus inservíveis, e demais informações correlatas que julgar pertinente.

Art. 17 - Os procedimentos e métodos para a verificação do cumprimento desta Resolução serão estabelecidos por Instrução Normativa do IBAMA.

Art. 18 - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 19 - Ficam revogadas as Resoluções CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999, e nº 301, de 21 de março de 2002.^[5] ^[6]

IZABELLA TEIXEIRA

Presidente do Conselho, Interina

[1] A Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Publicação - Diário Oficial da União – 02/09/1981) dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

[2] Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996 (Publicação - Diário Oficial da União - 20/01/1997).

[3] Resolução CONAMA nº 235, de 07 de janeiro de 1998 (Publicação - Diário Oficial da União - 09/01/1998) (Retificação - Diário Oficial da União - 16/01/1998).

[4] O Decreto Federal nº 6.514, de 22 de julho de 2008 (Publicação – Diário Oficial da União – 23/07/2008) dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências.

[5] Resolução CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999 (Publicação - Diário Oficial da União - 02/12/1999)

[6] A Resolução CONAMA nº 301, de 21 de março de 2002 (Publicação - Diário Oficial da União - 28/08/2003) altera dispositivos da Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre Pneumáticos.