

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**“TUBOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE
BORRACHA DE PNEU”**

Eng.º Rodolfo Mori Queiroz

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Pinheiro Melges

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas

Ilha Solteira - SP

Novembro de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

Q3t

Queiroz, Rodolfo Mori.

Tubos de concreto com adição de resíduos de borracha de pneu / Rodolfo Mori

Queiroz. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2012.

90 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2012

Orientador: José Luiz Pinheiro Melges

Coorientador: Jorge Luís Akasaki

Inclui bibliografia

1. Tubos de concreto. 2. Resíduos de borracha de pneu. 3. Ensaio de compressão diametral.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu


AUTOR: RODOLFO MORI QUEIROZ

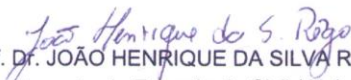
ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE LUIZ PINHEIRO MELGES

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE LUIZ PINHEIRO MELGES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MAURO MITSUUCHI TASHIMA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JOÃO HENRIQUE DA SILVA RÊGO
Departamento de Engenharia Civil / Universidade de Brasília

Data da realização: 29 de novembro de 2012.

“As oportunidades multiplicam-se à medida que são agarradas.”

Sun Tzu

*Dedico este trabalho aos meus pais
José e Márcia pelo apoio, incentivo e
compreensão.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta conquista na minha vida, por estar sempre presente ao meu lado, conduzindo e iluminando os meus passos.

À minha família, por me mostrar que o saber é algo mais que precioso, e por estar sempre ao meu lado para suprir as ausências e ansiedades. Em especial aos meus pais e minha irmã.

Ao meu Orientador Prof. Dr. José Luiz Pinheiro Melges e ao meu Coorientador Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki, que me levaram a entender o quão importante se faz trabalhar com dedicação, disciplina, seriedade e competência, além da amizade e profissionalismo compartilhados.

À empresa Caso Construtora Ltda, pela doação dos tubos de concreto utilizados nesta pesquisa, por permitir a minha interação com os demais funcionários da empresa na fabricação dos tubos. Agradeço especialmente à Eng.^a MSc. Ana Paula Fugii pela enorme colaboração a esta pesquisa.

À empresa REGIGANT – Recuperadora de Pneus Gigantes Ltda, pela doação dos resíduos de borracha de pneu.

Ao Laboratório CESP de Engenharia Civil (LCEC) de Ilha Solteira/SP, em especial ao Eng.º Flávio Moreira Salles, que colocou à disposição a utilização de equipamentos e apoio técnico necessários para a realização dos ensaios experimentais.

Ao Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho, pela disponibilidade dos equipamentos de aquisição de dados e ao Eng.º MSc. Wilson José da Silva, pelo apoio técnico dado durante os ensaios dos tubos de concreto.

Aos amigos de mestrado Caroline, Ederson, Felipe Jodas, João Vitor, Junior Sumai, Ricardo Takahashi e a todos os outros que, de certa forma, participaram desta etapa muito importante.

RESUMO

Os tubos de concreto com diâmetros superiores a 400 mm são utilizados em bueiros, travessias, drenagem pluvial, esgoto sanitário e canalizações de abastecimento; já os resíduos de borracha de pneu estão sendo aplicados com diversas finalidades, como por exemplo: combustível alternativo para as indústrias de cimento, na fabricação de solados de sapato, em borrachas de vedação, dutos pluviais, pisos para quadras poliesportivas, pisos industriais, asfalto-borracha, tapetes para automóveis e diversos tipos de concreto. Os resíduos de borracha de pneu quando adicionadas ao concreto podem melhorar algumas propriedades, tais como: impermeabilidade, flexibilidade, resistência à abrasão e resistência à corrosão. Em outro contexto, a incorporação destes resíduos no concreto surge como uma possibilidade para se atenuar impactos ambientais, ainda mais sabendo que ele é gerado em abundância durante o processo de recauchutagem. Observa-se, no entanto, que a inclusão desse resíduo pode provocar uma diminuição da resistência à compressão axial e do módulo de deformação longitudinal. Esta pesquisa tem por objetivo analisar o comportamento mecânico de protótipo de tubos de concreto feitos com diferentes teores de adições de resíduos de borracha de pneu. tais como: 10 kg/m³, 15 kg/m³, 20 kg/m³, 25 kg/m³ e 30 kg/m³, com base na norma NBR 8890 (ABNT, 2007). Os tubos de concreto possuem 600 mm de diâmetro nominal e 1,5 m de comprimento, sendo destinados aos sistemas de drenagem de águas pluviais. Os tubos de concreto foram submetidos, em escala real, ao ensaio de resistência à compressão diametral e de absorção de água, cujas amostras foram retiradas dos tubos após o ensaio de compressão diametral. Os resultados obtidos no ensaio de compressão diametral foram satisfatórios, todos os traços superaram o valor mínimo da norma, mas os resíduos de borracha de pneu não se comportaram como fibras. O teor de 15 kg de resíduos de borracha de pneu por metro cúbico de concreto foi o que obteve o melhor resultado. A adição de resíduos de borracha de pneu não alterou a característica do concreto em relação ao ensaio de absorção de água, pois todos os resultados foram satisfatórios. Com esta pesquisa pode-se concluir que os resíduos de borracha de pneu podem sim ser adicionados ao concreto na produção dos tubos de concreto, além de preservar o meio ambiente de forma sustentável, já que um pneu leva 600 anos para se decompor.

Palavras-chave: Tubos de concreto. Resíduos de borracha de pneu. Ensaio de compressão diametral.

ABSTRACT

The concrete pipes with diameters greater than 400 mm are used in culverts, crossings, rainwater drainage, sanitary sewer and plumbing supply. The tire rubber residues are being applied to various purposes such as: alternative fuel for the cement industry, in the manufacture of shoe soles in rubber seals, rainwater pipes, flooring for sports courts, industrial floors, asphalt-rubber mats for automobiles and various types of concrete. The tire rubber residue, when added to concrete, may improve some properties such as impermeability, flexibility, abrasion resistance and corrosion resistance. In another context, incorporation in the concrete of these residues appears as a possibility to mitigate environmental impacts, especially knowing that it is generated abundantly during the retreading process. It is noted, however, that the inclusion of this residue may lead to a decrease in compressive strength and modulus of elasticity. Based on standard NBR 8890 (ABNT, 2007), this research aims to analyze the mechanical behavior of prototypes of concrete pipes made with different contents of additions of tire rubber residue, such as: 10 kg/m³, 15 kg/m³, 20 kg/m³, 25 kg/m³ and 30 kg/m³. The concrete pipes that were studied had nominal diameter of 600 mm and length of 1.5 m, being intended for drainage systems of rainwater. The concrete pipes in real scale were submitted to the test of diametral compression strength and, after their ruptures, to the water absorption test, which samples were collected from the broken pieces. The results obtained by the diametral compression test were satisfactory since all pipes made with the mixtures exceeded the minimum value of the Brazilian standard, but the tire rubber residue did not behave as a fiber. The content of 15 kg of tire rubber residue per cubic meter of concrete was the one who had the best performance. The addition of tire rubber residue had not changed the characteristic of concrete related to the absorption of water, once all results were satisfactory. This work indicates that it is possible to use the tire rubber residue as an addition to the concrete, in the production of concrete pipes, preserving the environment in a sustainable manner, once a tire takes 600 years to decompose.

Keywords: Concrete pipes. Tire rubber residue. Diametral compressive test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Aspecto do lixo e esgoto nas ruas no período pré-1800	18
Figura 2	Municípios com serviço de rede de coleta de esgoto.....	21
Figura 3	Esquema de drenagem de água pluvial	23
Figura 4	Esquema de drenagem de água pluvial em planta	23
Figura 5	Exemplo de caixa de passagem.....	24
Figura 6	Exemplo de poço de visita	24
Figura 7	Exemplo travessia desembocando em alas	25
Figura 8	Exemplo travessia com dissipador de energia	25
Figura 9	Tipos de tubos de concreto	26
Figura 10	Tubos de concreto do tipo macho e fêmea e ponta e bolsa.....	27
Figura 11	Forma externa e interna (vibrador)	31
Figura 12	Detalhe do vibrador interno	31
Figura 13	Após a dosagem do concreto na betoneira ele segue pela esteira e cai diretamente entre a forma interna (núcleo vibratório) e forma externado tubo de concreto.....	32
Figura 14	Concreto caindo entre a forma interna (núcleo vibratório) e forma externa....	33
Figura 15	Tubo de concreto sendo transportado e sendo feito o acabamento interno	33
Figura 16	Retirada da forma externa do tubo de concreto	34
Figura 17	Apoio dos tubos ponta e bolsa quando estocados na horizontal.....	35
Figura 18	Padrão de fissuração do concreto (a) sem resíduo e (b) com resíduo	40
Figura 19	Influência das fibras em diferentes estágios de fissuração por tração no concreto.....	41
Figura 20	Distribuição Granulométrica da areia	46
Figura 21	Distribuição Granulométrica da brita 1.....	48
Figura 22	Resíduos de borracha de pneu utilizado.....	50
Figura 23	Borracha grossa.....	50
Figura 24	Borracha média	51
Figura 25	Borracha fina.....	51
Figura 26	Distribuição Granulométrica dos resíduos de borracha de pneu	52
Figura 27	Detalhe da betoneira onde é feita a mistura dos materiais e a caixa onde cai o concreto.....	54

Figura 28	Detalhe da esteira que transporta o concreto que sai da caixa até o núcleo vibratório.....	55
Figura 29	Núcleo vibratório, mesmo local de vibração dos tubos e dos corpos de prova.	55
Figura 30	Um tubo pronto, sendo transportado dentro da fôrma, para o local de depósito, e aplicando o acabamento do lado interno do tubo.....	56
Figura 31	Tubo de concreto com resíduo de borracha de pneu acabado, com cura realizada no ar livre	56
Figura 32	Lâmina padrão para medida de abertura de fissura 0,25mm	58
Figura 33	Esquema do ensaio para tubo ponta e bolsa e macho e fêmea.....	59
Figura 34	Sistema de aquisição de dados da marca Iotech (Daqbook 120) conectado a um microcomputador através do software DasyLab (versão 6.0)	60
Figura 35	Sistema de aplicação de carga composto pelo pistão, célula de carga e rótula	60
Figura 36	Prensa hidráulica com o operador.....	61
Figura 37	Esquema do plano de carregamento do ensaio de compressão diametral para tubos reforçados com fibras de aço.....	62
Figura 38	Tubo de concreto reforçado com resíduo de borracha após a ruptura, que foi brusca	62
Figura 39	Resultado Médio do Ensaio de Compressão Diametral, com Tratamento Estatístico.....	65
Figura 40	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B1 = 10 Kg/m ³	66
Figura 41	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B1 = 10 Kg/m ³	67
Figura 42	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B1 = 10 Kg/m ³	67
Figura 43	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B2 = 15 Kg/m ³	68
Figura 44	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B2 = 15 Kg/m ³	68
Figura 45	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B2 = 15 Kg/m ³	69

Figura 46	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B3 = 20 Kg/m ³	69
Figura 47	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B3 = 20 Kg/m ³	70
Figura 48	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B3 = 20 Kg/m ³	70
Figura 49	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B4 = 25 Kg/m ³	71
Figura 50	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B4 = 25 Kg/m ³	71
Figura 51	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B4 = 25 Kg/m ³	72
Figura 52	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B5 = 30 Kg/m ³	72
Figura 53	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B5 = 30 Kg/m ³	73
Figura 54	Resultado do ensaio de compressão diametral para tubos com resíduos de borracha – teor de borracha – B5 = 30 Kg/m ³	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Municípios com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição, segundo as Grandes Regiões - 1989/2008	22
Tabela 2	Empilhamento máximo recomendado dos tubos de concreto	35
Tabela 3	Caracterização do cimento.....	45
Tabela 4	Caracterização da areia	47
Tabela 5	Caracterização da brita 1	48
Tabela 6	Classificação granulométrica do resíduo de borracha de pneu.....	49
Tabela 7	Caracterização do resíduo de borracha de pneu	53
Tabela 8	Traço do concreto utilizado na fabricação dos tubos (em volume).....	53
Tabela 9	Resultado do Ensaio de Compressão Diametral com Tratamento Estatístico	65
Tabela 10	Resumo do Ensaio de Absorção de Água para os Tubos com Resíduos de Borracha.....	74
Tabela 11	Resultado do Ensaio de Compressão Diametral sem Tratamento Estatístico	85
Tabela 12	Resultados do ensaio detalhado de absorção de água para os tubos com resíduos de borracha.....	86
Tabela 13	Compressão diametral de tubos simples para tubos de águas pluviais e de esgotos sanitários	89
Tabela 14	Compressão diametral de tubos armados e/ou reforçados com fibras de aço para tubos de águas pluviais	90

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS E IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	13
1.2 OBJETIVO	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	15
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CONCRETO	16
2.2 TUBOS DE CONCRETO.....	17
2.2.1 História.....	17
<i>2.2.1.1 Período Pré-1800.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.1.2 Período de 1800 a 1880.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.1.3 Período de 1880 a 1930.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.1.4 Período Posterior a 1930.....</i>	<i>19</i>
2.2.2 Utilização e Aplicação dos Tubos de Concreto.....	20
<i>2.2.2.1 Redes de Esgoto Sanitário e Abastecimento de Água.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2.2 Redes de Drenagem de Água Pluvial</i>	<i>22</i>
<i>2.2.2.3 Outras Aplicações</i>	<i>23</i>
2.2.3 Tipos de Tubos de Concreto.....	26
2.2.4 Projeto de Tubos de Concreto	28
2.2.5 Fabricação, Armazenamento, Transporte e Montagem dos Tubos de Concreto.....	28
<i>2.2.5.1 Fabricação dos Tubos de Concreto</i>	<i>28</i>
<i>2.2.5.1.1 Traço e Dosagem do Concreto</i>	<i>29</i>
<i>2.2.5.1.2 Armaduras.....</i>	<i>30</i>
<i>2.2.5.1.3 Processo de Fabricação dos Tubos</i>	<i>30</i>
<i>2.2.5.2 Manuseio, Armazenamento e Transporte dos Tubos de Concreto</i>	<i>34</i>
2.3 RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU.....	35
2.3.1 Aspectos Gerais	35
2.3.2 Estrutura e Processo de Trituração/Redução de Pneus	37
2.3.3 Comportamento do Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu	39
2.4 FIBRAS.....	42

CAPÍTULO 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	44
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS44
3.1.1	Cimento.....44
3.1.2	Areia.....45
3.1.3	Brita.....47
3.1.4	Água.....49
3.1.5	Resíduos de Borracha de Pneu.....49
3.2	TRAÇO DO CONCRETO.....53
3.3	FABRICAÇÃO DO TUBO DE CONCRETO COM RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU.....54
3.4	ENSAIOS REALIZADOS.....57
3.5	MÉTODOS DE ENSAIO.....57
3.5.1	Ensaio de Compressão Diametral.....57
3.5.1.1	<i>Tubos de Concreto Simples e Armado.....57</i>
3.5.1.2	<i>Tubos de Concreto com Resíduos de Borracha de Pneu.....59</i>
3.5.2	Ensaio de Absorção de Água.....63
CAPÍTULO 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	64
4.1	ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL64
4.2	GRÁFICOS CARGA POR TEMPO COM RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU66
4.3	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....74
4.4	DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....74
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
5.1	CONCLUSÕES FINAIS77
5.2	TRABALHOS FUTUROS78
REFERÊNCIAS.....	79
	APÊNDICE A – Resultado do ensaio de compressão diametral85
	APÊNDICE B – Resultado do ensaio de absorção de água.....86
	ANEXO A – Carga mínima de ruptura na compressão diametral.....89
	ANEXO B – Carga mínima de ruptura e fissura na compressão diametral.....90

Capítulo

1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS E IMPORTÂNCIA DO TEMA

Atualmente tem crescido a quantidade dos estudos direcionados à utilização e ao reaproveitamento de resíduos que eram despejados na natureza. Sendo assim, a reciclagem está sendo muito estimulada. Já existem inúmeros produtos que são produzidos de materiais reciclados ou reaproveitados, como, por exemplo, embalagens de alumínio, papel higiênico e vários subprodutos do aço.

Dentre os setores que utilizam resíduos na fabricação de seus materiais, destaca-se a indústria da construção civil. Pode-se mencionar, por exemplo, o uso da sílica ativa, da escória de alto-forno e da cinza de casca de arroz na produção de concreto.

Vários outros resíduos têm sido estudados, como, por exemplo, resíduos da indústria de mármore, de granito, as embalagens de garrafas PET e borracha de pneu, que podem vir a servir como ponte de transferência de tensões no concreto. Logo, esta pesquisa vem unir a adição de resíduos de borracha de pneu ao tão conhecido tubo de concreto.

O tubo de concreto auxiliou na resolução dos grandes problemas que surgiram com o aumento da população sem infraestrutura, o que ocasionou, na época, século XVIII, grandes epidemias com inúmeras mortes, uma vez que a população mundial não tinha noções de higiene e saúde pública.

Então, após o ano de 1800, começou a implantação de infraestrutura com a construção de tubulações de esgoto e, posteriormente, de drenagem de águas pluviais. Essas obras foram fundamentais para que se conseguisse controlar as epidemias e hoje são essenciais para que a população não sofra com problemas de saúde pública.

Para a realização dos sistemas de infraestrutura citados, é fundamental que as tubulações apresentem os seguintes requisitos: resistência, durabilidade e impermeabilidade.

Os tubos de concreto podem ser simples (sem armadura) e armados, e sua utilização é feita de acordo com a classe de resistência requerida no projeto. Os tubos de concreto, quando enterrados, desempenham a função de resistirem às solicitações de compressão, principal em função do material concreto. Quando os tubos de concreto são armados, o aço tem a função de

auxiliar o concreto a absorver os esforços de tração e de flexão que podem ocorrer durante a fabricação, o manuseio, o transporte, a montagem e durante a sua vida útil.

Dessa forma, esta pesquisa vem ao encontro da necessidade mundial de continuar mantendo a implantação de uma infraestrutura adequada à preservação do meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, à medida que estuda a possibilidade da utilização de resíduos de borracha de pneu na produção de tubos de concreto.

Além disso, os resíduos de borracha de pneu podem servir como isolante térmico e acústico, aumentar a tenacidade do concreto e auxiliar no combate à propagação de fissuras.

1.2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é avaliar a possibilidade de utilização de resíduos de borracha de pneu na produção de tubos de concreto utilizados em drenagem de águas pluviais. Será feita uma análise do comportamento mecânico, quanto à compressão diametral, e uma análise em relação à absorção de água de amostras dos tubos de concreto com resíduos de borracha de pneu. Os traços terão adição de 10, 15, 20, 25 e 30 kg de resíduos de borracha por m³ de concreto. Os tubos com resíduos de borracha também terão suas características verificadas com base na NBR 8890:2007.

1.3 JUSTIFICATIVA

Devido ao surgimento de grandes epidemias, ocasionando grandes males à saúde pública, a sociedade começou a perceber que isso tudo era devido à falta de infraestrutura. Iniciou-se um processo de implantação de redes de esgoto nas grandes cidades e, posteriormente, de galerias de águas pluviais. Essas obras foram fundamentais para o controle das doenças e hoje são essenciais para que a população não sofra com problemas de saúde pública. O tubo de concreto surgiu como sendo um dos principais elementos para resolver esse problema.

O resíduo de borracha de pneu pode contribuir em relação aos seguintes aspectos: diminuição do peso específico dos tubos; aumento da tenacidade, isto é, da capacidade de suportar maiores deformações após o começo da fissuração do material; possibilitar uma melhora da capacidade de resistência ao impacto e limitar a abertura de fissuras.

Uma das vantagens práticas dos tubos de concreto com resíduos de borracha de pneu é a facilidade da fabricação, já que tubos armados necessitam de investimentos em equipamentos de corte, dobramento e montagem das armações quando se utiliza tela metálica, ou da substituição destes equipamentos por mão-de-obra qualificada.

Os tubos de concreto com resíduos de borracha eliminam a etapa de fabricação da armadura, uma vez que os resíduos são adicionados ao concreto como se fosse um de seus elementos constituintes. E, quanto maior for o teor de resíduos de borracha, teoricamente, maior será também o número de fibras atuando como ponte de transferência de tensão, que poderia aumentar a resistência à tração do concreto; no entanto, teores elevados dificultam a trabalhabilidade e diminuem a resistência à compressão. A incorporação dos resíduos de borracha no concreto ajuda a não contaminar o meio ambiente, uma vez que o material que seria jogado fora será utilizado, contribuindo para a sustentabilidade.

1.4 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A organização da dissertação foi elaborada de modo a simplificar e facilitar o entendimento dos conceitos que serão abordados em cinco capítulos.

Capítulo 1 - Introdução

Aborda de maneira sucinta as considerações gerais, a importância do tema, o objetivo e a justificativa.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Engloba uma revisão bibliográfica, principalmente sobre tubos de concreto, resíduos de borracha de pneu e suas aplicações no concreto.

Capítulo 3 – Programa Experimental

Apresenta os procedimentos, detalhes dos ensaios realizados em laboratório e descrição do programa experimental realizado.

Capítulo 4 – Apresentação e Discussão dos Resultados

Apresenta os resultados obtidos no decorrer da pesquisa, e suas respectivas análises.

Capítulo 5 – Conclusão e Considerações Finais

Apresenta as considerações finais e as conclusões, baseadas na análise dos resultados.

Referências

Apresenta as referências das bases teóricas usadas neste trabalho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

O concreto de cimento Portland foi desenvolvido no final do século XIX. O seu uso intensivo no século XX fez dele o mais importante material estrutural da atualidade, transformando-o no material mais consumido pelo homem depois da água (HELENE; TIBÉRIO, 2007).

Atualmente, com o progresso da ciência dos materiais, observam-se concretos com algumas diferenças dos chamados concretos básicos; porém, a essência dos materiais constituintes do concreto continua sendo a mesma. Essas diferenças ocorrem quando se pode utilizar o concreto com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, sendo frequentemente utilizados nos concretos atuais (HELENE; TIBÉRIO, 2007).

O concreto é um material de construção largamente utilizado, podendo ser usado também em ambientes expostos a ataques químicos e em ambientes fortemente agressivos, como, por exemplo, ambientes marinhos e pátios de indústrias químicas. Isso se deve ao fato dele possuir resistência à água, como por exemplo, em uma barragem. Ele pode ser moldado numa variedade de formas e tamanhos, e ser mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obras do que outros materiais de construção. Além disso, segundo Alves (2000), o concreto oferece boa resistência à compressão, parâmetro significativo enquanto material estrutural.

A água utilizada na dosagem do concreto inicia a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se a sua quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e a trabalhabilidade ficará prejudicada; porém, se a quantidade for superior à ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando esse excesso evaporar. Essa proporção entre água e o cimento utilizada na mistura é chamada de fator água/cimento. Ainda, segundo Cascudo (1997), um concreto será de qualidade mais baixa, quando maiores forem seus índices de permeabilidade e absorção.

Em algumas situações, podem ser incorporados ao concreto, alguns produtos químicos ou outros componentes, também chamados de aditivos ou adições, como por exemplo, os

aditivos redutores de água e a sílica ativa, respectivamente. Aditivos e adições têm a finalidade de melhorar propriedades tais como a trabalhabilidade e a resistência, além de poder retardar as reações químicas que ocorrem no concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Trigo (2008), quanto mais finas as partículas de cimento, maior a demanda de água para se obter a trabalhabilidade desejada nos concretos, o que pode resultar em perda de resistência, por causa do aumento da porosidade.

2.2 TUBOS DE CONCRETO

2.2.1 História

Registros históricos mostram muitas referências de construções, nas civilizações antigas, para armazenar e transportar a água. Explorações de arqueólogos indicam que a ideia de se fazer drenagem surgiu muito cedo na história. Por exemplo, uma canalização de esgoto em arco, construída aproximadamente em 3750 a.C., foi revelada em uma escavação em Nippur, Índia. Em outra escavação, em Conta, perto de Bagdá, foi encontrada uma canalização de esgoto aberta, construída em 2600 a.C. (RAMOS, 2002).

Uma das canalizações antigas mais conhecidas são os aquedutos de Roma. A água levada por esses aquedutos era usada principalmente para beber. Já a Cloaca Máxima, que foi feita com diâmetro máximo de 4,3 m no coletor tronco, foi a principal rede de esgoto de Roma na época, construída em 800 a.C., com blocos de pedra e cimento romano. Depois de mais de 2800 anos, ainda estão sendo utilizadas seções de concreto, para compor redes de esgoto e de água pluvial (RAMOS, 2002).

No Brasil, merece especial menção a iniciativa tomada no período do império, dotando a cidade do Rio de Janeiro de modelar serviço de esgotos, antes mesmo de outra importante cidade como de Nova Iorque, Praga, Berlim e Buenos Aires. A obra de Saturnino de Brito deu ao país posição de destaque no saneamento urbano, no princípio do século passado (AZEVEDO NETTO, 1959).

A história da relação entre a população e a necessidade das canalizações enterradas pode ser contada do ponto de vista da indústria de tubos de concreto e está dividida em quatro períodos (CHAMA NETO, 2004).

2.2.1.1 Período Pré-1800

Nesse período, os homens proveram as cidades com água e sistema de drenagem sem dispor de concreto, aço, e plástico para tal. Investigações revelam que eles entendiam os princípios de drenagem e aplicavam os mesmos para a construção dos sistemas de esgotamento e drenagem (AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION - ACPA, 1980).

Os despejos eram depositados nas ruas e se acumulavam nas calçadas até que fossem conduzidos para as canalizações através das águas das chuvas. Como resultado desse tipo de atitude, após as chuvas, as ruas se tornavam verdadeiros pântanos, com um lodo viscoso e agressivo à saúde, composto por esgoto e lixo, cujo odor fétido era penetrante e irritante (ACPA, 1980).

Figura 1 - Aspecto do lixo e esgoto nas ruas no período pré-1800



Fonte: ACPA, 1980

2.2.1.2 Período de 1800 a 1880

Segundo Chama Neto (2004), esse foi o período em que realmente aconteceu o surgimento da indústria de tubos de concreto. O século XIX propiciou um período de consolidação política e de expansão industrial. Três áreas de expansão durante esse período fizeram com que a indústria de tubos de concreto viesse a surgir:

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

- exigência do ponto de vista de saúde pública por água e tratamento dos despejos;
- sistemas de transportes;
- necessidade agrícola por irrigação e drenagem.

2.2.1.3 Período de 1880 a 1930

Esse período foi caracterizado por grandes acontecimentos na indústria de tubos de concreto, segundo Chama Neto (2004). Os principais acontecimentos foram:

- crescimento do mercado, desenvolvimento da produção dos tubos de concreto, evolução dos projetos;
- construção de rede de esgoto em Santos, em 1889;
- construção de rede de esgoto em Campinas, em 1892;
- criação da R.A.E.-Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo, em 1893, hoje denominado D.A.E. - Departamento de Águas e Esgotos;
- construção da rede de esgoto em Belo Horizonte, em 1896;
- fundação da American Society of Testing and Materials – ASTM, em 1898: com isso, iniciou-se a padronização dos tubos de concreto, com o comitê de estudo C4, precursor do comitê C13, que trata sobre tubos de concreto;
- formação da Interstate Cement Tile Manufacturers Association, em 1907, que, em 1914, passou a ser chamada de American Concrete Pipe Association - ACPA;
- publicação de teorias usadas para estimar as cargas atuantes nos tubos, elaboradas por Marston e Anderson, em 1913, posteriormente aprimoradas por Marston e Talbot;
- realização do primeiro teste de resistência à compressão, em um tubo de 700 mm de diâmetro e 1500 mm de comprimento, na fábrica da Companhia Americana de Produtos de Concreto, em Neville Island, Pensilvânia, EUA, em 1924.

2.2.1.4 Período Posterior a 1930

Nos anos seguintes aos anos de depressão e à segunda guerra mundial, a produção de tubos de concreto cresceu de forma significativa. Como exemplo, somente nos Estados

Unidos a produção anual dobrou para quatro milhões de toneladas/ano até 1950, alcançando um nível de produção de mais de dez milhões de toneladas/ano até 1970 (CHAMA NETO, 2004).

Segundo Chama Neto (2002), devido à crise que o continente europeu atravessou entre o final da década de 80 até 1995, o mercado de tubos foi afetado de forma bastante intensa, fazendo com que os fabricantes fossem obrigados a reduzir os custos e sendo forçados a desenvolver máquinas que possibilitassem a diminuição da espessura da parede dos tubos, dando maior flexibilidade à produção.

Segundo Fugii (2008), foi criada, no Brasil, em 2001, a Associação Brasileira de Fabricantes de Tubos de Concreto – ABTC.

2.2.2 Utilização e Aplicação dos Tubos de Concreto

Os tubos de concreto possuem diversas aplicações, que serão apresentadas a seguir.

2.2.2.1 Redes de Esgoto Sanitário e de Abastecimento de Água

Tubos de concreto foram desenvolvidos para atender a demanda por sistemas de esgotos sanitários, que foi um dos fatores que tornaram possível o crescimento das grandes cidades (ACPA, 1980).

Segundo o IBGE (2008), a comparação dos dados levantados pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008 com aqueles obtidos pela PNSB 2000 permite constatar a evolução dos serviços de saneamento básico oferecidos à população brasileira nesse intervalo de tempo. Nesse sentido, cabe destacar alguns aspectos relevantes:

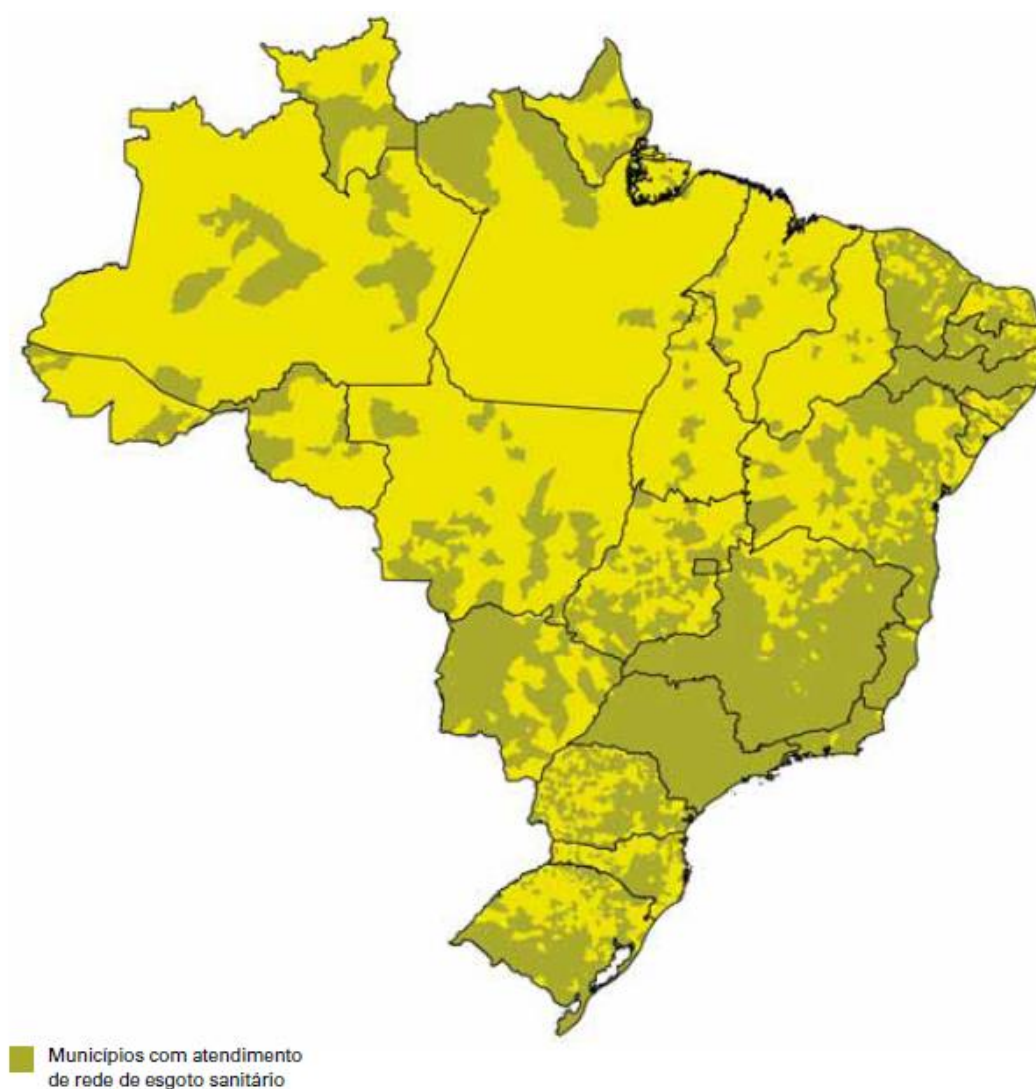
- a) a quase totalidade dos municípios brasileiros com serviço de manejo de resíduos sólidos;
- b) o aumento de 6,7% no número de municípios com rede coletora de esgoto, o que representou um aumento de mais 192 cidades ofertando esse tipo de serviço;
- c) o expressivo aumento de 21,5% na prestação do serviço de manejo de águas pluviais, com mais 929 municípios que passaram a realizar a drenagem urbana.

O contingente populacional sem a cobertura desse serviço, considerando-se apenas os municípios sem rede coletora, era de aproximadamente 34,8 milhões de pessoas, ou seja, em

2008, cerca de 18% da população brasileira estava exposta ao risco de contrair doenças em decorrência da inexistência de rede coletora de esgoto.

Quanto ao esgotamento sanitário feito por rede coletora, apesar do crescimento já referido, a situação revela-se ainda mais preocupante; pois se verifica a falta de rede coletora em 2495 municípios, distribuídos pelas Unidades da Federação, com exceção do Estado de São Paulo; onde apenas uma cidade não apresentava o serviço de esgotamento através de rede coletora, conforme figura 2 (IBGE, 2008).

Figura 2 - Municípios com serviço de rede de coleta de esgoto



Fonte: IBGE, 2008

O serviço de abastecimento de água através de rede geral caracteriza-se pela retirada da água bruta na natureza, adequação de sua qualidade, transporte e fornecimento à população

através de rede geral de distribuição. Há de se considerarem, ainda, formas alternativas de abastecimento das populações, como, por exemplo, água proveniente de chafarizes, bicas, minas, poços particulares, carros-pipas, cisternas, etc.

As informações coletadas pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008 sobre abastecimento de água revelam aspectos relevantes da cobertura desse serviço no País, conforme a tabela 1. Dos 5564 municípios brasileiros existentes em 2008, 5531 (99,4%) realizavam abastecimento de água por rede geral de distribuição em pelo menos um distrito ou parte dele (IBGE, 2008).

Tabela 1 - Municípios com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição, segundo as Grandes Regiões - 1989/2008

Grandes Regiões	Municípios com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição					
	1989		2000		2008	
	Quantidade	Percentual (%)	Quantidade	Percentual (%)	Quantidade	Percentual (%)
Brasil	4 245	95,9	5 391	97,9	5 531	99,4
Norte	259	86,9	422	94,0	442	98,4
Nordeste	1 371	93,8	1 722	96,4	1 772	98,8
Sudeste	1 429	99,9	1 666	100,0	1 668	100,0
Sul	834	97,3	1 142	98,5	1 185	99,7
Centro-Oeste	352	92,9	439	98,4	464	99,6

Notas: 1. Considera-se o município em que pelo menos um distrito (mesmo que apenas parte dele) é abastecido por rede geral de distribuição de água.

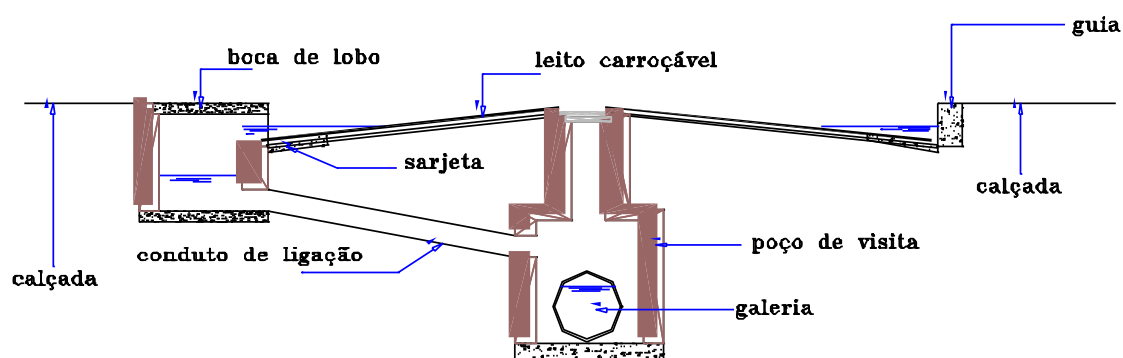
2. O total de municípios era de 4 425, de 5 507 e 5 564, em 1989, 2000 e 2008, respectivamente.

Fonte: IBGE, 2008

2.2.2.2 Redes de Drenagem de Água Pluvial

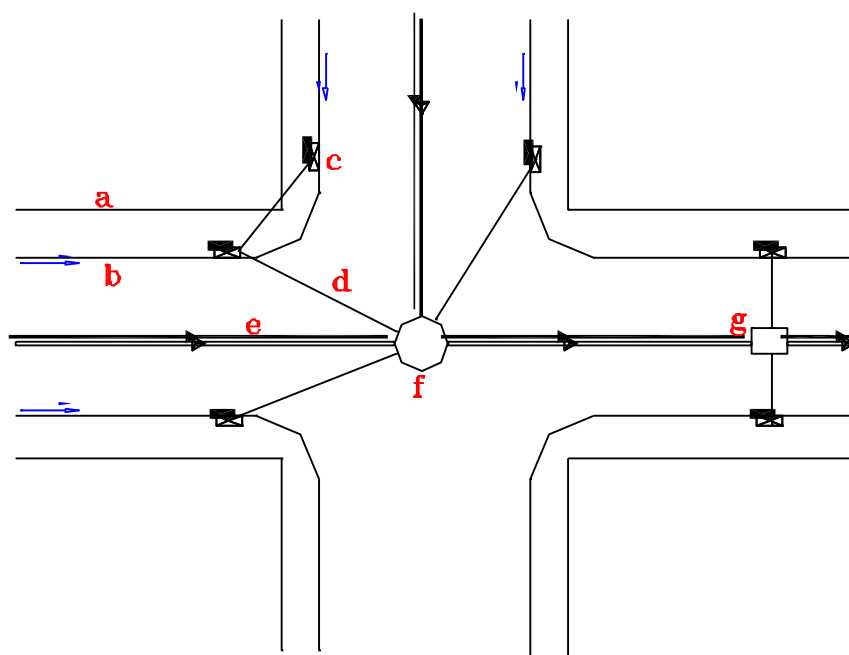
O sistema de drenagem urbana é o conjunto de obras destinadas ao controle das águas pluviais excessivas devido à urbanização não planejada e à diminuição dos prejuízos sociais, econômicos e sanitários que variam conforme as proporções das inundações. As partes constituintes de um sistema de drenagem de águas pluviais são: macrodrenagem e micro drenagem, sendo este último sistema subdividido em: captação, bocas de lobo, galerias e poços de visita (GEBARA, 2004), esquematizados nas figuras 3 e 4.

Figura 3 - Esquema de drenagem de água pluvial



Fonte: GEBARA, 2004

Figura 4 - Esquema de drenagem de água pluvial em planta



- a) linha do terreno;
- b) linha da calçada (guia);
- c) boca de lobo;
- d) tubo de ligação;
- e) galeria de água pluvial;
- f) poço de visita;
- g) caixa de ligação

Fonte: GEBARA, 2004

2.2.2.3 Outras aplicações

Os tubos de concreto podem ser utilizados em várias outras aplicações, como por exemplo em caixas de passagem, bocas de lobo, travessias, poço de visita, etc. (figuras 5 a 8).

Figura 5 - Exemplo de caixa de passagem



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 6 - Exemplo de poço de visita



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

Figura 7 - Exemplo travessia desembocando em alas



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 8 - Exemplo travessia com dissipador de energia

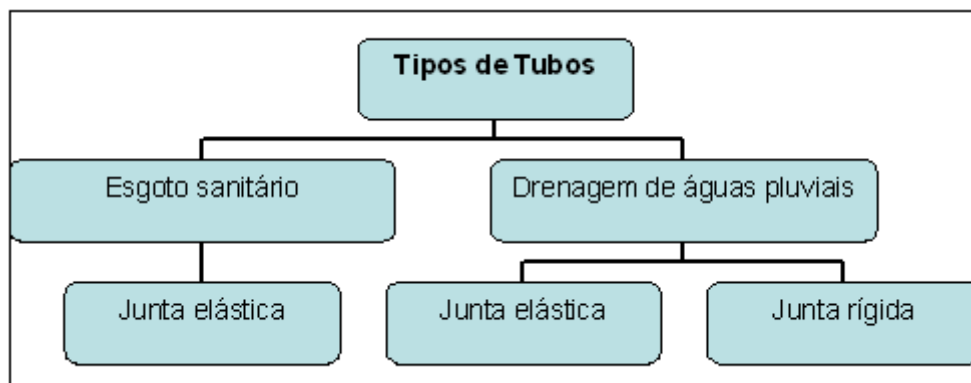


Fonte: Dados da pesquisa do autor

2.2.3 Tipos de Tubos de Concreto

Apresenta-se, na figura 9, os tipos de tubos de concreto de acordo com a sua destinação.

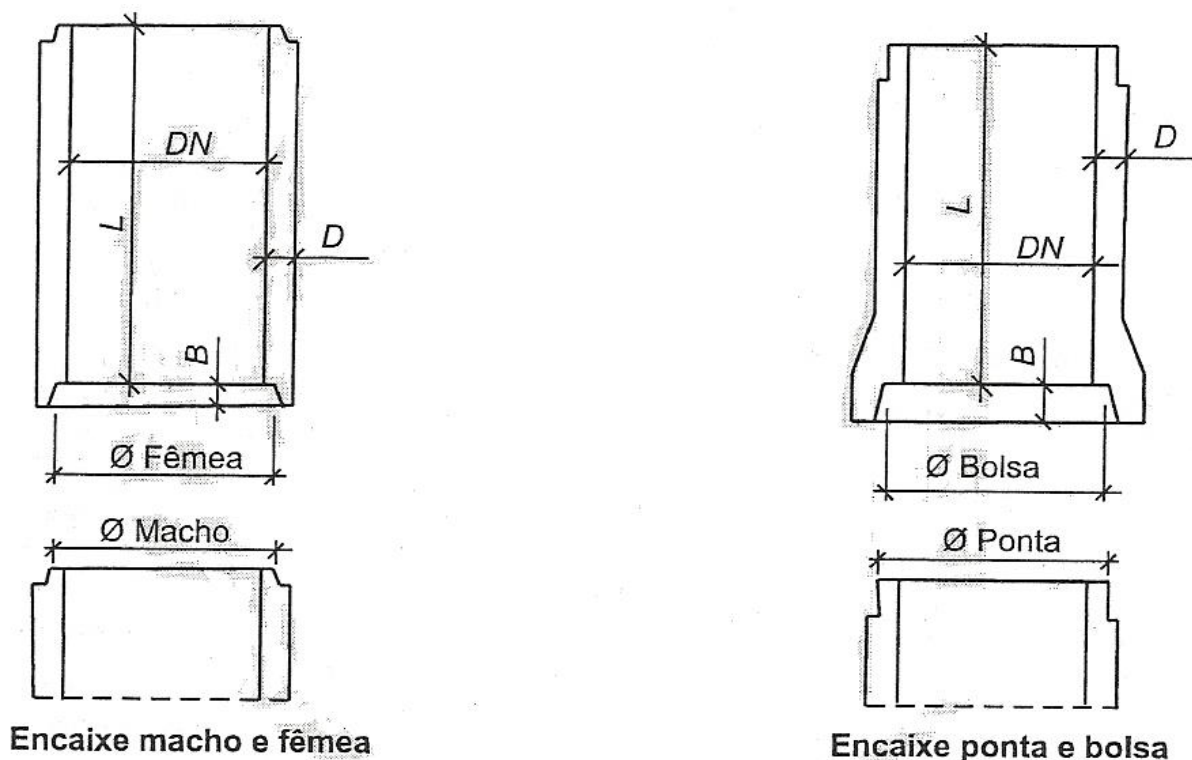
Figura 9 - Tipos de tubos de concreto



Fonte: FUGII, 2008

Segundo Fugii (2008), os tubos de junta elástica são providos de anel de borracha para promover o adequado encaixe das partes do tubo. Os tubos para esgoto sanitário possuem encaixe do tipo ponta e bolsa; os tubos destinados a águas pluviais possuem encaixe de dois tipos: macho e fêmea ou ponta e bolsa. Na figura 10, tem-se o exemplo dos dois tipos de tubos de concreto: macho e fêmea, e ponta e bolsa.

Figura 10 - Tubos de concreto do tipo macho e fêmea e ponta e bolsa



Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007)

Onde:

DN: diâmetro nominal;

L: comprimento útil mínimo do tubo;

B: comprimento mínimo da bolsa ou da fêmea;

D: espessura mínima da parede (valor tabelado).

Segundo a ABTC (2011), as vantagens da utilização de tubos de concreto nas canalizações de condutos enterrados são:

- durabilidade;
- paredes dos tubos praticamente impermeáveis;
- baixo custo quando comparado a outros materiais;
- estanqueidade das juntas;
- facilidade e rapidez de execução das obras;
- resistência a líquidos agressivos;
- resistência a esforços dinâmicos e de impacto;
- resistência mecânica;
- resistência a pressões interiores;

- flexibilidade de produção;
- requer mínima conservação posterior;
- ruptura quase-dúctil (tubos de concreto armado);
- não necessita de medidas especiais contra corrosão.

Uma desvantagem da utilização de tubos de concreto nas canalizações de condutos enterrados é elevado peso próprio do concreto, da ordem de 25 kN/m^3 .

2.2.4 Projeto de Tubo de Concreto

O projeto de tubos de concreto, o qual visa resolver problemas de forma econômica de esgotamento sanitário, de esgotamento de águas superficiais de drenagem em áreas urbanas (galerias), e de escoamento de cursos d'água na transposição de estradas em aterro (bueiros), envolve duas etapas principais: o projeto hidráulico e o projeto estrutural.

No projeto hidráulico, são tomadas as decisões necessárias à garantia do bom desempenho funcional do condutor, com a definição de suas características geométricas (secção de vazão, locação em planta e corte), medidas de proteção contra erosão, entupimentos e riscos de inundação. Devem-se considerar todas as ações hidráulicas capazes de agir sobre a estrutura (ZAILLER, 1983).

O projeto estrutural de tubos de concreto está relacionado à determinação dos carregamentos sobre a tubulação enterrada. E estes carregamentos podem ser fixos (como aterros ou taludes) ou móveis (como veículos).

Os trabalhos de Marston e Spangler dizem que o dimensionamento dos tubos pode ser reduzido ao cálculo de um tubo capaz de resistir a uma determinada carga aplicada por meio de um determinado ensaio de laboratório. Esse trabalho é largamente aceito e aplicado no caso de tubos rígidos (FUGII, 2008).

2.2.5 Fabricação, Armazenamento, Transporte e Montagem dos Tubos de Concreto

2.2.5.1 Fabricação dos Tubos de Concreto

O processo de fabricação dos tubos de concreto inicia-se com a adequada seleção dos materiais a serem utilizados no concreto, além dos ensaios em laboratório para a

caracterização dos mesmos. Depois de caracterizado o material, inicia-se o processo de dosagem do concreto para determinação das quantidades dos materiais que irão compor o traço (CHAMA NETO, 2004).

Em uma fábrica de tubos de concreto, enquanto uma equipe realiza o controle dos materiais usados na dosagem do concreto, outra equipe prepara as armaduras para a fabricação dos tubos. A fábrica também pode adotar a utilização de telas soldadas ao invés da fabricação das armaduras *in loco*. Em seguida, inicia-se o processo de fabricação dos tubos que consiste em: colocar a armadura na fôrma e em seguida encaixá-la ao sistema de produção, que pode ser por vibração simples, vibração com prensagem, ou centrifugação radial. O concreto é levado à fôrma por meio de esteiras rolantes que fazem a ponte entre a unidade dosadora e o local do sistema produtivo (FUGII, 2008).

2.2.5.1.1 Traço e Dosagem do Concreto

Entende-se por estudo de dosagem do concreto os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os seus materiais constitutivos, também conhecida como traço do concreto. Essa proporção ideal entre os materiais constitutivos do concreto pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível, por ser mais rigorosa, a proporção expressa em massa seca de materiais (HELENE; TERZIAN, 2005).

A definição do traço depende da consistência e trabalhabilidade do concreto desejado; no caso dos tubos, deseja-se concreto de consistência seca, na qual a forma de adensamento interfere nas propriedades requeridas do concreto (CHAMA NETO, 2004).

Os concretos de reologia seca, como é o caso do concreto utilizado na produção dos tubos, exigem um processo de adensamento energético (vibro-prensagem) para a sua moldagem. O objetivo de se realizar esse tipo de adensamento é o de se reduzir o índice de vazios (e conseqüentemente o valor do índice de absorção de água), bem como o de proporcionar a ligação da água com o cimento, condição essencial para as reações de endurecimento da massa (CHAMA NETO, 2004).

A relação água/cimento (a/c) deve ser no máximo de 0,50 para tubos destinados a águas pluviais, e no máximo de 0,45 para tubos destinados a esgotos sanitários, segundo a NBR 8890 (ABNT, 2007).

2.2.5.1.2 Armaduras

A armadura principal do tubo deve ser posicionada de forma a garantir o atendimento aos cobrimentos mínimos exigidos: o cobrimento interno das armaduras deve ser no mínimo de 20 mm e o cobrimento externo, de no mínimo de 15 mm, para os tubos de diâmetro nominal até 600 mm. Para os tubos com diâmetros nominais maiores que 600 mm, o cobrimento interno das armaduras deve ser no mínimo de 30 mm e o cobrimento externo de no mínimo de 20 mm.

As barras transversais da armadura (barras ou tela) não devem afastar-se entre si ou das extremidades do tubo por mais de 150 mm, sendo que, na bolsa, este afastamento não pode ser maior que 50 mm, e, na ponta, 70 mm. Deve-se ter, pelo menos, duas aspiras em sua extremidade. As emendas de barra podem ser feitas por transpasse, por solda, ou metodologias que garantam a continuidade da capacidade estrutural do conjunto (ABNT, 2007).

2.2.5.1.3 Processos de Fabricação dos Tubos

Os concretos utilizados para a fabricação de tubos possuem consistência seca (abatimento zero). Isso se deve à necessidade do uso contínuo da fôrma, ou seja, assim que o tubo é fabricado, a fôrma é retirada para dar continuidade ao processo de fabricação (FUGII, 2008).

A fôrma é constituída de três partes, sendo, uma interna, outra externa, e, por último, o chamado anel, que serve como base para o tubo durante a moldagem. A fôrma interna é o núcleo vibratório, ou seja, é o responsável pela vibração do concreto quando este é lançado do misturador planetário/betoneira para a fôrma. A fôrma externa é constituída de uma chapa de aço, com a forma do tubo, e pode ser desmontada. Assim que termina o processo de adensamento, a fôrma externa é içada pelo guincho, juntamente com o anel, e levados ao local de cura. Esse local deve possuir um piso nivelado para que, durante o processo de cura, o tubo não se deforme (GUIMARÃES; RECENA; PEREIRA, 2007).

A fôrma externa então é retirada através de sua desmontagem parcial, e o tubo permanece apenas com o anel, sendo sustentado pelo seu próprio peso. É por isso que existe a necessidade de se utilizar concreto de consistência seca, pois, caso contrário, não haveria a possibilidade da retirada da fôrma externa (FUGII, 2008). As figuras 11 e 12 mostram as

fôrmas.

Figura 11 - Forma externa e interna (vibrador)



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 12 - Detalhe do vibrador interno



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

O adensamento do concreto na produção dos tubos pode ser realizado dos seguintes modos: vibração simples, vibração com prensagem e centrifugação radial.

O procedimento de prensagem simples é utilizado para a fabricação de tubos de diâmetros menores, sem armadura, sendo normalmente associado com vibração simples. No processo de vibração, os vibradores podem ser colocados na fôrma externa ou na fôrma interna. No adensamento por centrifugação radial, a fôrma interna é móvel, provida de massas que giram com alguma excentricidade, juntamente com a mesma, comprimindo o concreto contra a fôrma externa (FUGII, 2008).

Para esta pesquisa, foi utilizado o processo de vibração do tubo, com o núcleo vibratório (fôrma interna) fixa e a fôrma externa móvel, como é mostrado nas figuras 13 a 16.

Figura 13 - Após a dosagem do concreto na betoneira, ele segue pela esteira e cai diretamente entre a forma interna (núcleo vibratório) e a forma externa do tubo de concreto



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 14 - Concreto caindo entre a forma interna (núcleo vibratório) e forma externa



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 15 - Tubo de concreto sendo transportado e sendo feito o acabamento interno



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 16 - Retirada da fôrma externa do tubo de concreto



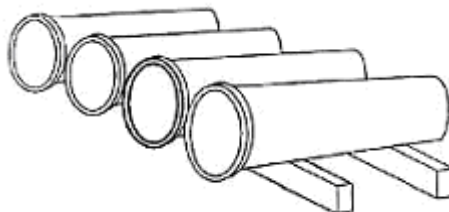
Fonte: Dados da pesquisa do autor

2.2.5.2 Manuseio, Armazenamento e Transporte dos Tubos de Concreto

Após a moldagem, os tubos de concreto deverão ser levados até uma área de cura; recomenda-se todo o cuidado para protegê-los de choques ou cargas não previstas que possam afetar suas características estruturais e dimensionais. Na área de cura, os tubos deverão ser estocados na posição vertical sobre um piso nivelado para que se evitem deformações e ovalizações; nesse período, os tubos não podem ser empilhados, segundo a NBR 8890 (ABNT, 2007).

Quando houver a necessidade de estocagem dos tubos na posição horizontal, por motivos de segurança, é importante que os tubos tenham atingido características de resistência para tal, o que ocorre geralmente após no mínimo três dias após a sua fabricação. Uma maneira adequada de estocagem na posição horizontal é dispor a pilha superior sobre a pilha inferior, calçando como mostra a figura 17, de forma que o peso seja distribuído uniformemente, evitando-se cargas concentradas, segundo a NBR 8890 (ABNT, 2007).

Figura 17 - Apoio dos tubos ponta e bolsa quando estocados na horizontal



Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007)

Segundo a NBR 8890 (ABNT, 2007), para se evitar um empilhamento excessivo, recomenda-se uma altura máxima pelo diâmetro do tubo, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 - Empilhamento máximo recomendado dos tubos de concreto

Diâmetro Nominal (mm)	Número Máximo de Pilhas
200 a 400	4
500 a 600	3
700 a 1000	2
>1000	1

Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007)

Segundo a NBR 8890 (ABNT, 2007), para o içamento do tubo até o veículo em que será transportado, deve-se utilizar preferencialmente equipamentos que não danifiquem a integridade dos tubos de concreto; sempre que possível transportá-los na posição vertical e recomenda-se que, na utilização de cabos de aço ou cintas, deve-se realizar o içamento pela parte externa do tubo.

2.3 RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU

2.3.1 Aspectos Gerais

A invenção dos pneumáticos se deu pela contribuição de diversos pesquisadores. De certa forma, inicialmente, foi o norte-americano Charles Goodyear quem descobriu e registrou, em 1841, o processo de vulcanização da borracha, dando início a uma nova era na utilização desse material (FAZZAN, 2011).

Posteriormente, em 1845, R. W. Thomson desenvolveu os pneus de borracha, contribuindo para que, em 1888, o veterinário escocês John Boy Dunlop criasse o pneumático, que era composto de um tubo de borracha com ar sob pressão (FAZZAN, 2011).

Devido a grande produção em escala dos pneumáticos, vem se constatando um grande aumento no seu descarte a cada ano, sendo que a produção em 2006 de pneus novos foi de 1,353 bilhões em todo o mundo; já o descarte de pneus usados chega a atingir, anualmente, a marca de quase 1 bilhão de unidades (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2009).

Segundo Kamimura (2002), a disposição final dos pneus representa um problema complexo. Por sua degradação lenta, o descarte inadequado dos pneus inservíveis em aterros sanitários tem acarretado prejuízos à natureza, justificado pelo fato dos pneus serem combustíveis que queimam em altas temperaturas, além da contribuírem para contaminação dos solos e lençóis d'água, e, bem como para a proliferação de insetos e roedores.

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

Com base em relatório da OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), Cincotto (*apud* GOMES FILHO, 2007) propõe os seguintes critérios para avaliação do resíduo para uso na construção civil:

- a quantidade disponível em um local deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;
- as distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas com os materiais convencionais;
- o material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posterior à sua incorporação na estrutura.

Para que o mercado de pneus se torne sustentável, é necessário um esforço conjunto das partes envolvidas na coleta, armazenamento e reciclagem, aliando políticas e programas governamentais com o desenvolvimento de tecnologias inovadoras. Dessa forma, é possível viabilizar a fabricação a partir de produtos reciclados com desempenho igual ou superior ao original e que sejam ambientalmente seguros (GOMES FILHO, 2007).

No Brasil, os pneus inservíveis são reaproveitados de diversas formas, como combustível alternativo para as indústrias de cimento, na fabricação de solados de sapato, em borrachas de vedação, dutos pluviais, pisos para quadras poliesportivas, pisos industriais, asfalto-borracha e tapetes para automóveis (ANIP, 2011).

Bazani (2009) salientou que o Brasil ocupa o segundo lugar no ranking mundial de recauchutagem de pneus, o que lhe confere uma posição vantajosa junto a vários países na luta pela conservação ambiental. Portanto, o país possui um potencial para reaproveitamento dos pneus; é necessário que se destine corretamente tais resíduos e que novas pesquisas possam ser desenvolvidas, a fim de poder contribuir na preservação dos recursos naturais.

Em 1960, foi fundada a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) que congrega todos os fabricantes de pneumáticos e câmaras de ar no território nacional. Em 1999, a ANIP, através da Resolução CONAMA nº 238/1999, criou o programa de coleta e destinação de pneus inservíveis em todo o país, em atendimento às exigências estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e pelo Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (FAZZAN, 2011).

2.3.2 Estrutura e Processo de Trituração/Redução dos Pneus

A estrutura do pneu pode ser dividida em:

- **carcaça:** estrutura esquelética interna do pneu, formada por uma lona de poliéster, náilon ou aço, disposta diagonalmente ou radialmente;
- **flancos:** parte lateral do pneu, formada por elementos de borracha de alta flexibilidade, que visam proteger a carcaça;
- **talão:** elemento formado por um anel a partir de um agrupamento de arames de aço dispostos de forma paralela, com a função de manter o pneu acoplado ao aro;
- **banda de rodagem:** parte do pneu que entra em contato com a pista de rolamento, sendo composta por borracha vulcanizada.

A reforma de pneus é importante quando se menciona a redução de petróleo consumido na fabricação de um pneu. Considera-se que, para fabricar um pneu novo, é preciso de aproximadamente 79 litros de petróleo, enquanto que, para reformar o mesmo

pneu, são necessários apenas 29 litros. Portanto a fabricação de um pneu novo também requer um consumo elevado de mão de obra e energia (PENA, 2011).

Um dos métodos de reforma de pneus é o processo de recauchutagem, que é um método simples, pois somente recoloca a parte da borracha gasta na banda de rolagem. Esse método preserva cerca de 80% da matéria-prima e da energia necessárias para a fabricação de um pneu novo (GOMES FILHO, 2007).

No processo de recauchutagem, é feita a raspagem mecânica da banda de rodagem velha para que possa ocorrer a aderência à nova banda de rodagem. O pneu se comporta tecnicamente como se fosse novo. Devido à raspagem mecânica, o restante da banda de rodagem velha transforma-se em partículas de diversas granulometrias denominadas de resíduos de borracha de pneu (MARTINS, 2005).

De acordo com UTEP (2006), os padrões de fabricação das partículas de borracha, para os diversos tipos de aplicações são:

a) granulado de borracha de 4 a 7 mm: utilizado como matéria-prima para a fabricação de produtos de borracha como tapetes, pallets, coxins automotivos, correias automotivas e industriais, tijolos para queima, alimentação de caldeiras e fornos em geral; também utilizado como complemento para a fabricação de produtos como: tubos, retentores para motores, bombas, encanamentos, mantas de isolamento acústico e térmico, cintas para reboque e levantamento de cargas e sinalização de solo para tráfego;

b) granulado de borracha de 1,5 a 3 mm: utilizado como matéria-prima para a fabricação de produtos de borracha como pavimentação a quente (misturado ao asfalto), solados para calçados, pequenos retentores, revestimentos de peças metálicas, pisos esportivos, construção civil.

c) pó de borracha de 0,3 a 2 mm: utilizada como matéria-prima para a fabricação de produtos como: adesivos, vinil, lubrificantes para a indústria de plásticos (que evitam que peças plásticas colem entre si quando armazenadas), fabricação de peças de borracha, retentores com diâmetro inferior a 0.3 cm, pastilhas e lonas de freio, tintas, tijolos de alta resistência, látex, goma para adesivos e pneus.

Segundo Ozbay, Lachemi e Sevim (2010), os pneus inservíveis, quando transformados em resíduos de borracha de pneu e utilizados em materiais à base de cimento, podem ser reciclados em três tamanhos principais:

- partículas de borracha de pneu em lascas, funcionando como agregado graúdo (tamanho variando entre 13 mm e 76 mm);
- partículas de borracha de pneu em migalha, funcionando como agregado miúdo (tamanho variando entre 0,075 mm e 4,75 mm);
- partículas finas de borracha (tamanho variando entre 0,15 mm e 19 mm).

2.3.3 Comportamento de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

A possibilidade de incorporação de resíduos em misturas à base de cimento é uma contribuição da construção civil para a reciclagem de resíduos prejudiciais ao meio ambiente, podendo também melhorar o desempenho dos materiais com sua adição, principalmente com relação ao comportamento frágil que os concretos em geral apresentam (FAZZAN, 2011).

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

Segundo Khatib e Bayomy (1999), a queda de resistência à compressão de concretos com adição de resíduo de borracha depende principalmente da qualidade da pasta, da aderência entre agregados e pasta, e da dureza e densidade dos agregados. Ao se substituírem os agregados naturais, mais densos, por agregados mais leves, a menor densidade da borracha poderá funcionar como um concentrador de tensão, causando microfissuras da matriz de concreto, levando a uma perda de resistência.

Segundo Lopes *et al.* (2005), a adição de partículas menores de resíduos de borracha acarreta menor prejuízo à resistência mecânica do concreto do que a adição de grãos.

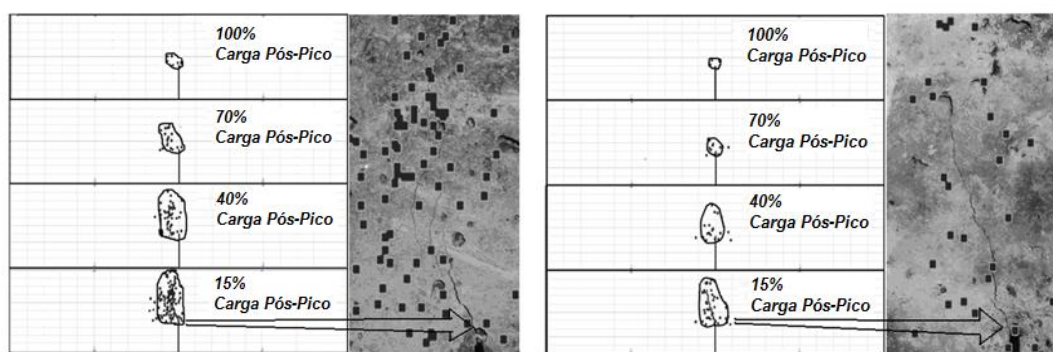
Batayneh, Marie e Asi (2008) concluíram que concretos com uma maior percentagem de borracha possuem alta tenacidade.

Zhang *et al.* (2010) analisaram o processo de danificação do concreto simples em amostras de dimensões 100 mm x 100 mm x 400 mm, adicionando-se resíduo de borracha de pneu nas misturas de concreto. Foram utilizadas partículas de borracha de 2 a 3 mm de diâmetro, para substituições de 25% em relação ao volume de agregado miúdo. A

investigação das amostras se deu por meio da técnica de Emissão Acústica (EA), de forma que os sinais de EA do concreto com adição de resíduo apresentaram menores amplitudes em relação aos concretos sem adição.

A figura 18 mostra uma maior evolução da zona de fratura para o concreto sem adição de resíduo, no ensaio de flexão das amostras. Para 15% da carga pós-pico, os autores verificaram que a fissura se aproxima da face superior das amostras, comportamento não verificado quando se utiliza resíduo de borracha. Observou-se também a diminuição da quantidade de microfissuras do concreto com resíduos de borracha, quando comparado ao concreto sem resíduos. As microfissuras são representadas pelos pontinhos pretos na figura 18 (ZHANG *et al.*, 2010).

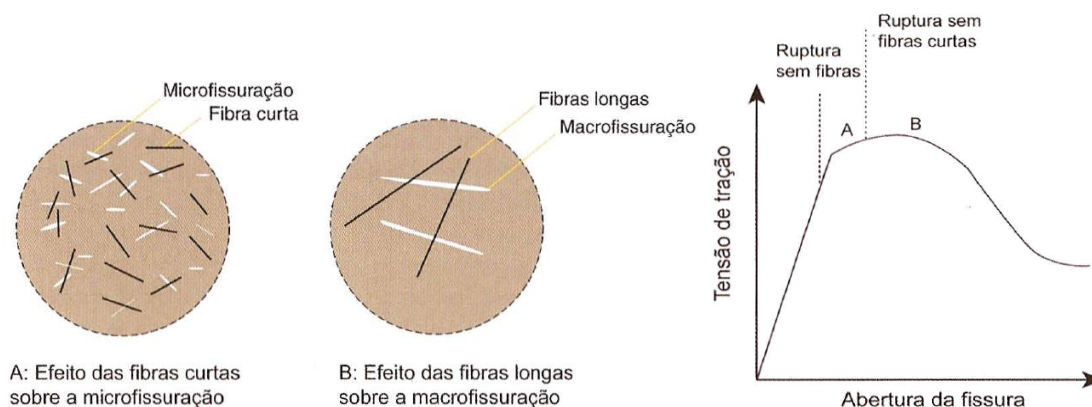
Figura 18 - Padrão de fissuração do concreto (a) sem resíduo e (b) com resíduo



Fonte: ZHANG *et al.* (2010, p. 1530)

Esses efeitos podem ser comprovados observando-se a Figura 19, que mostra a influência das fibras, curtas ou longas, em diferentes estágios de fissuração por tração no concreto. Segundo Mehta e Monteiro (2008), um grande volume de fibras curtas pode reduzir a microfissuração, levando ao aumento da resistência e da ductilidade. Além disso, verifica-se tal propriedade quando se utiliza um pequeno volume de fibras longas, o que contribui para a redução da microfissuração.

Figura 19 - Influência das fibras em diferentes estágios de fissuração por tração no concreto



Fonte: Rossi, P. *apud* Mehta e Monteiro (2008)

Ganjian, Khorami e Maghsoudi (2009) afirmaram que o módulo de elasticidade do concreto com resíduos está diretamente relacionado ao volume de borracha empregado, de modo que um aumento de substituição dos agregados por borracha causará reduções no módulo de elasticidade.

Segundo Zheng, Huo e Yuan (2008), as propriedades de amortecimento do concreto com borracha foram muito sensíveis à amplitude de vibração de resposta, se comparadas com as do concreto simples; ou seja, as razões de amortecimento de concreto emborrachado aumentaram consideravelmente com o aumento do teor de borracha.

A borracha, devido a algumas propriedades, pode ser considerada como um agregado leve, podendo ser utilizada para fabricação de concreto leve, que apresenta larga aplicação no mercado da construção civil (EVANGELISTA *et al. apud* GOMES FILHO, 2007). O peso reduzido e o isolamento térmico e acústico constituem grandes vantagens da aplicação do concreto leve se comparados aos dos concretos tradicionais.

Segundo estudos de Aiello (2010), o valor da densidade das partículas dos resíduos de borracha de pneu foi de $1,089 \pm 0,036 \text{ g/cm}^3$, bem semelhante à de Khaloo *et al.* (2008), que obteve $1,15 \text{ g/cm}^3$. As discrepâncias observadas podem ser provavelmente devido à borracha ser de origem diferente como de carro, caminhão ou moto.

Benazzouk *et al.* (2008) estudaram alguns compósitos de cimento com borracha, com a proposta de desenvolver um material de construção leve, com baixa condutividade térmica, de modo a reduzir a transferência de calor em edifícios, a fim de diminuir o consumo de energia. Substituições foram feitas para 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de partículas e lascas de borracha em relação ao volume de agregado. Ainda segundo o autor, foi observado que a adição de partículas de borracha na matriz de cimento reduziu a condutividade térmica do

composto. Valores de 1,16 W/mK para a pasta de cimento foram reduzidos para 0,47 W/mK na amostra contendo 50% de partículas de borracha, correspondendo a uma redução de cerca de 60%. Segundo Benazzouk *et al.* (2008), a redução da condutividade térmica dos compósitos é devido ao efeito isolante das partículas de borracha, que têm baixa condutividade térmica, além do aumento do conteúdo de ar na matriz. Embora o concreto contenha um teor de 50% de partículas de borracha; existe uma boa coesão entre essas partículas e a matriz de cimento, mesmo com a inclusão de cavidades esféricas de vazios de ar.

Aditivos poliméricos de base acrílica, vinílica e estireno-butadieno foram utilizados no trabalho proposto por Albuquerque *et al.* (2006), com o objetivo de criar pontes de ligação entre a borracha e a matriz de cimento. Foram ensaiadas amostras de concreto convencional (CCV) e concreto compactado a rolo (CCR), com adição de borracha de pneu de três diferentes granulometrias, em teores de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em substituição parcial ao volume de areia, submetidas ou não ao tratamento superficial com os aditivos. Os autores concluíram que a maior queda das propriedades estudadas se deu utilizando partículas de dimensões menores (0,42 mm), para ambos os concretos. Em particular, para o CCR, esse fato pode ser atribuído à dificuldade do adensamento dos concretos contendo partículas de borracha mais finas, as quais encontraram maior facilidade de deslocamento dentro da massa e, conseqüentemente, maior facilidade de segregação. A análise por microscopia eletrônica de varredura foi realizada em amostras extraídas a partir de superfícies de fratura dos corpos de prova e os tratamentos superficiais realizados mostraram-se eficazes, resultando em concretos com melhor desempenho, quando comparados àqueles com borracha sem tratamento; esse comportamento é evidenciado de forma mais expressiva nos resultados de resistência à tração por compressão diametral.

2.4 FIBRAS

O objetivo de se adicionar fibras ao concreto é o de se provocar uma costura entre as infinitas seções que compõem o sólido, combatendo, principalmente, as fissuras provocadas pela retração. Quando submetidas a tensões aplicadas, essas fissuras se propagam rapidamente, sendo responsáveis pela ruptura do material (SANTOS, 2005).

No caso do concreto simples, uma fissura irá representar uma barreira à propagação de tensões. Devido à barreira imposta, ocorrerá uma concentração de tensões na extremidade da fissura e quando a tensão superar a resistência da matriz de concreto acontece a ruptura frágil

do concreto. Quando fibras são adicionadas ao concreto, elas servem como ponte de transferência de tensões através das fissuras e dificultam a propagação das fissuras, devido ao seu elevado módulo de elasticidade. O concreto fibroso passa a ter um comportamento pseudodúctil, ou seja, apresenta uma capacidade importante pós-fissuração (FIGUEIREDO, 2000).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a introdução de fibras não melhorou significativamente a resistência à tração do concreto; mas melhorou o seu comportamento no estágio pós-fissuração, ou seja, o concreto reforçado com fibras é mais tenaz e por isso mais resistente ao impacto. Muito embora a influência das fibras na resistência à tração dependa do tipo de fibra, percebe-se, de forma geral, que as fibras incorporadas ao concreto tornam-no menos frágil.

Com a utilização das fibras será assegurada uma menor fissuração do concreto; portanto, é pertinente recomendar a utilização dessas, mesmo para concretos convencionalmente armados (MINDESS, 1995).

Em função de sua baixa resistência e de seu baixo módulo de elasticidade, os resíduos podem não ter o comportamento semelhante ao de materiais considerados fibras, mas talvez possam propiciar um melhor comportamento do concreto com relação à fissuração.

Capítulo

3**PROGRAMA EXPERIMENTAL**

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**3.1.1 Cimento**



O cimento utilizado foi CP V-ULTRA, escolhido pela empresa Caso Construtora Ltda, que o utiliza na produção de tubos, devido à sua alta resistência inicial.

A caracterização desse material foi realizada logo após sua estocagem em local adequado e protegido de umidade. Os cimentos utilizados nas composições de concreto foram caracterizados atendendo aos requisitos especificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O cimento estava de acordo com as recomendações feitas pelas normas NBR 5733 (ABNT, 1991) e NBR 5737 (ABNT, 1992).

Na tabela 3, estão apresentados os resultados dos ensaios realizados para o cimento CP V-ULTRA.

Tabela 3 - Caracterização do Cimento CP V-ULTRA

Laboratório CESP de Engenharia Civil		 				
Referência		23293		Especificações NBR 5733		
Amostra		-				
Carta		-				
Data da coleta		4/9/2009		mín.	máx.	
Finura Peneira 200 (% retida)		0,65		---	6,0	
Finura Peneira 325 (% retida)		1,47		---	---	
Superfície específica Blaine (cm ² /g)		4661		3000	---	
Densidade aparente (g/cm ³)		1,05		---	---	
Densidade absoluta (g/cm ³)		3,12		---	---	
Água de consistência da pasta	gramas	154		---	---	
	(%)	30,8		---	---	
Início de pega (h:min)		02:34		01:00	---	
Fim de pega (h:min)		03:04		---	10:00	
Expansão em autoclave (%)		Exp.		---	0,8 *	
Resistência à Compressão Axial	Consistência da argamassa	gramas	150		---	---
		a / c	0,48		---	---
	Data de moldagem		08/09		---	---
	Tensão (MPa)	03 dias	31,9		24,0	---
		07 dias	36,2		34,0	---
28 dias		42,2		---	---	
Análise Química (%)	Perda ao fogo		4,22		---	4,5
	Insolúveis		0,67		---	1,0
	SiO ₂		17,61		---	---
	Fe ₂ O ₃		2,27		---	---
	Al ₂ O ₃		5,13		---	---
	CaO		59,12		---	---
	MgO		6,91		---	6,5
	SO ₃		4,01		---	3,5
	Na ₂ O		0,21		---	---
	K ₂ O		0,74		---	---
	Equivalente alcalino Na ₂ O		0,69		---	---
Cal livre em CaO		1,41		---	---	
Análise físico-química de cimento Votoran CP V-ULTRA						

Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP.

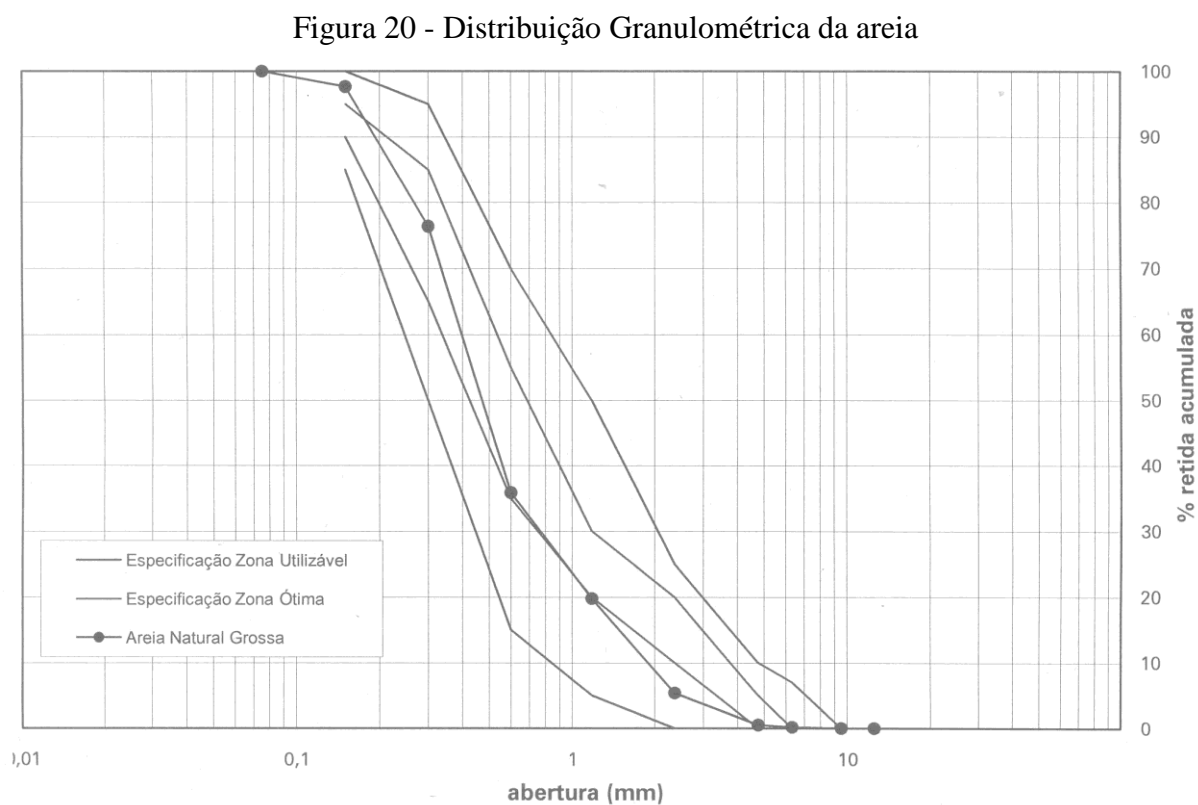
3.1.2 Areia

A areia utilizada é proveniente da cidade de Adolfo-SP. A caracterização foi realizada segundo as normas técnicas brasileiras:

- análise granulométrica: NBRNM 248 (ABNT, 2003);
- absorção de água: NBRNM 30 (ABNT, 2001);
- massa específica seca e massa específica aparente: NBRNM 52 (ABNT, 2009);
- massa específica unitária e espaços vazios: NM 45 (ABNT, 2006);
- matéria orgânica: NBRNM 49 (ABNT, 2001);

- materiais pulverulentos: NBRNM 46 (ABNT, 2003).

Os valores obtidos no ensaio de caracterização da areia natural podem ser observados na figura 20 e na tabela 4.



Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP

Tabela 4 - Caracterização da areia

Obra/Proced. :		Unesp				Carta n.º:						
Cliente:		Rodolfo				O. S. n.º:						
Identificação:		Areia Natural Grossa				Data ensaio:		22/02/2011				
Normal	Auxiliar	Abertura	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada							
3"	-	75 mm		0,0	0,0							
-	2 1/2"	63 mm		0,0								
-	2"	50 mm		0,0								
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0							
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0								
-	1"	25 mm		0,0								
3/4"	-	19 mm		0,0	0,0							
-	1/2"	12,5 mm		0,0								
3/8"	-	9,5 mm		0,0	0,0							
-	1/4"	6,3 mm	1,7	0,2								
N.º 4	-	4,75 mm	3,4	0,3	0,5							
N.º 8	-	2,36 mm	49,2	4,9	5,4							
N.º 16	-	1,18 mm	145,8	14,4	19,8							
N.º 30	-	600 µm	162,7	16,1	35,9							
N.º 50	-	300 µm	410,0	40,5	76,4							
N.º 100	-	150 µm	215,5	21,3	97,7							
fundo	-	75 µm	23,6	2,3								
Total			1011,9	100,0	235,5							
Peneiras		% Retida Acumulada										
(mm) →	0,075	0,150	0,300	0,600	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5	12,5	19	25
Areia	100,0	97,7	76,4	35,9	19,8	5,4	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0

φ máx. (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária		absorção (%)	pulverulento (%)	matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm³)	seca (g/cm³)	aparente (g/cm³)	solta (g/cm³)	4% de umidade (g/cm³)			
4,75	2,36	2,633	2,645	2,626	1,554	1,229	0,28	0,44	+ clara

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP

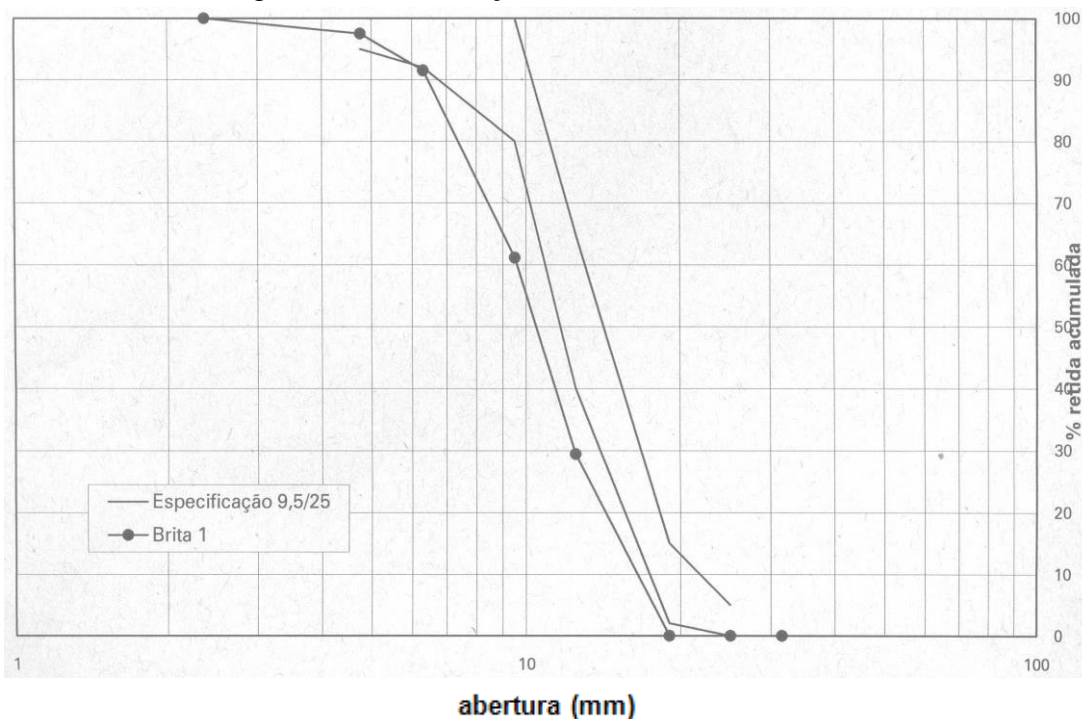
3.1.3 Brita

O agregado graúdo utilizado foi a brita 1, proveniente da cidade de Icem - SP. A caracterização da brita 1 foi realizada segundo as normas técnicas brasileiras:

- Análise granulométrica: NBR NM 248 (ABNT, 2003);
- Massa específica seca, massa específica aparente e absorção de água: NM 53 (ABNT, 2009);
- Massa específica unitária e espaços vazios: NM 45 (ABNT, 2006);

Os valores obtidos no ensaio de caracterização da areia natural podem ser observados na figura 21 e na tabela 5.

Figura 21 - Distribuição Granulométrica da brita 1



Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP

Tabela 5 - Caracterização da brita 1

Obra/Proced. : Unesp		Carta n.º:										
Cliente: Rodolfo		O. S. n.º:										
Identificação: Brita 1		Data ensaio: 22/02/2011										
PENEIRAS		Abertura (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada							
Normal	Auxil.											
3"	-	75 mm		0,0	0,0							
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0						
-	2"	50 mm		0,0		0,0						
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0							
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0						
-	1"	25 mm	0	0,0		0,0						
3/4"	-	19 mm	0	0,0	0,0							
-	1/2"	12,5 mm	5850	29,4		29,4						
3/8"	-	9,5 mm	6320	31,8	61,2							
-	1/4"	6,3 mm	6040	30,4		91,5						
N.º 4	-	4,75 mm	1190	6,0	97,5							
N.º 8	-	2,36 mm	500	2,5	100,0							
N.º 16	-	1,18 mm		0,0	100,0							
N.º 30	-	600 µm		0,0	100,0							
N.º 50	-	300 µm		0,0	100,0							
N.º 100	-	150 µm		0,0	100,0							
fundo	-	75 µm		0,0		100,0						
Total			19900	100,00	658,64							
Peneiras		% Retida Acumulada										
(mm) →	0,150	0,300	0,600	1,180	2,36	4,75	6,30	9,50	12,50	19,0	25,0	31,5
Casc	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,5	91,5	61,2	29,4	0,0	0,0	0,0

φ máximo (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária (g/cm³)	absorção (%)	pulverulento (%)
		s.s.s. (g/cm³)	seca (g/cm³)	aparente (g/cm³)			
19,0	6,59	2,850	2,792	2,964	1,593	2,08	0,88

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP

3.1.4 Água

A água utilizada é potável, proveniente de um poço artesiano da cidade de São José do Rio Preto-SP, onde está situada a fábrica dos tubos fornecidos para a pesquisa.

3.1.5 Resíduo de Borracha de Pneu

Nesta pesquisa foram utilizados resíduos de borracha de pneu fornecidos pela empresa recauchutadora REGIGANT – Recuperadora de Pneus Gigantes Ltda, situada na cidade de Ilha Solteira - SP, a qual faz recauchutagem exclusivamente em pneus para caminhões fora de estrada e máquinas pesadas. Após o recebimento do material, fios de nylon e aço foram retirados, assim como qualquer outro tipo de impureza.

Foi utilizada uma determinada faixa granulométrica do resíduo de borracha, obtida através de um peneiramento classificatório. Portanto, determinou-se um jogo de peneiras de modo a separar os resíduos de borracha de pneus em faixas granulométricas bem definidas, apresentando inclusive fácil distinção visual.

A tabela 6 apresenta o jogo de peneiras utilizado, com as porcentagens obtidas para cada faixa de resíduo e suas respectivas classificações. No decorrer desta pesquisa, os resíduos foram classificados de borracha muito grossa, grossa, média ou fina. Com o intuito de se aproveitar o máximo de resíduo possível, concluiu-se que apenas a borracha muito grossa, correspondente a 1,7% do material peneirado, deveria ser descartada. A figura 22 ilustra o resíduo de borracha de pneu utilizado na pesquisa.

Tabela 6 - Classificação granulométrica do resíduo de borracha de pneu

Classificação Granulométrica dos Resíduos de Borracha de Pneu				
Peneiras Normais e Auxiliares		Resíduos de borracha de pneu		
Denominação da ABNT	Abertura (mm)	% Retida	Classificação	Observação
1/4"	6,3	1,7	B. Muito Grossa	Não utilizada
N.º 8	2,38	27,8	Borracha Grossa	Utilizada
N.º 16	1,19	32,8	Borracha Média	Utilizada
Fundo	0,075	37,7	Borracha Fina	Utilizada

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 22 - Resíduos de borracha de pneu utilizado



Fonte: Dados da pesquisa do autor

De acordo com cada denominação dada, tem-se, a partir da simples observação visual, a seguinte descrição das faixas granulométricas utilizadas:

- Borracha Grossa: possui forma alongada (tipo fibra), apresentando comprimentos máximos por volta de até 30mm e espessura de 2 a 3mm (Figura 23).

Figura 23 - Borracha grossa



Fonte: Dados da pesquisa do autor

- Borracha Média: também de formato alongado (tipo fibra), contudo com comprimento, de maneira geral e em sua maioria, inferior a 10mm, e espessura em torno de 1mm (Figura 24).

Figura 24 - Borracha média



Fonte: Dados da pesquisa do autor

- Borracha Fina: apresenta forma granular, tipo pó (Figura 25).

Figura 25 - Borracha fina



Fonte: Dados da pesquisa do autor

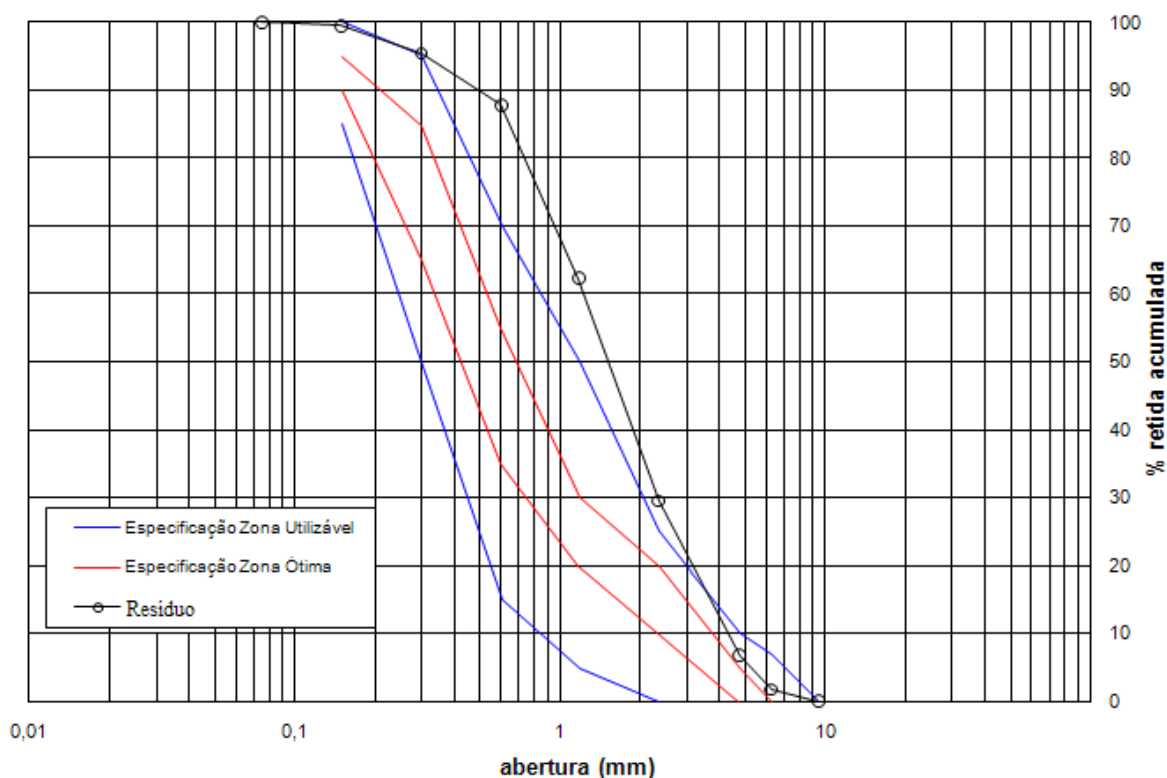
Para a caracterização dos resíduos de borracha de pneu, foram realizados os ensaios:

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

- análise granulométrica NBRNM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003), sendo realizada com apenas 250 gramas do material, dada a grande diferença de massa específica entre a borracha de pneu e os demais agregados;
- determinação da massa específica pela NBR NM 52 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2009): optou-se por realizar o ensaio com álcool, pois a densidade da borracha de pneu é muito próxima à da água;

A Tabela 7 mostra os resultados de caracterização do resíduo de borracha de pneu. Pode-se observar que apenas 15% de resíduo apresenta granulometria de areia grossa, enquanto o restante apresenta granulometria superior à da areia grossa.

Figura 26 - Distribuição Granulométrica dos resíduos de borracha de pneu



Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

Tabela 7 - Caracterização do resíduo de borracha de pneu

Procedência: REGIGANT				O. S. n.º:								
Identificação: Borracha de Pneu				Data ensaio: 24/2/2010								
PENEIRAS		Abertura	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada							
Normal	Auxiliar											
3"	-	75 mm		0,0	0,0							
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0						
-	2"	50 mm		0,0		0,0						
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0							
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0						
-	1"	25 mm		0,0		0,0						
3/4"	-	19 mm		0,0	0,0							
-	1/2"	12,5 mm		0,0		0,0						
3/8"	-	9,5 mm		0,0	0,0							
-	1/4"	6,3 mm	4,2	1,7		1,7						
N.º 4	-	4,75 mm	12,6	5,0		6,7						
N.º 8	-	2,36 mm	57,0	22,8		29,5						
N.º 16	-	1,18 mm	81,9	32,8		62,3						
N.º 30	-	600 µm	63,7	25,5		87,7						
N.º 50	-	300 µm	19,3	7,7		95,4						
N.º 100	-	150 µm	9,8	3,9		99,4						
fundo	-	75 µm	1,6	0,6		100,0						
Total			250,0	100,0		381,1						
Peneiras		% Retida Acumulada										
(mm) →	0,075	0,150	0,300	0,600	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5	12,5	19	25
Areia	100,0	99,4	95,4	87,7	62,3	29,5	6,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
φ máx. (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária			absorção (%)	pulverulento (%)	matéria orgânica		
4,75	3,81	s. s. s. (g/cm³)	seca (g/cm³)	aparente (g/cm³)	solta (g/cm³)	4% de umidade (g/cm³)						
		1,090		0,348								

Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP

3.2 TRAÇO DO CONCRETO

Os traços dos concretos utilizados na pesquisa estão apresentados na tabela 8. O traço para o concreto convencional, também usado na pesquisa, foi o mesmo da fábrica de tubos.

Tabela 8 - Traço do concreto utilizado na fabricação dos tubos (em volume)

Materiais	Traço do Concreto					
	Convencional	CRFB - B1	CRFB - B2	CRFB - B3	CRFB - B4	CRFB - B5
Cimento CPV - ULTRA (kg)	40	40	40	40	40	40
Areia Natural (l)	80	80	80	80	80	80
Brita 1 (l)	100	100	100	100	100	100
Água (l)	16	16	16	16	16	16
a/c	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Resíduo de Borracha (kg)	0	1,4	2,0	2,7	3,5	4,0

Fonte: CASO CONSTRUTORA LTDA

3.3 FABRICAÇÃO DO TUBO DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU

Para a fabricação do concreto com resíduos de borracha de pneu, adotou-se uma ordem de colocação dos materiais para se obter o resultado desejado. Primeiro foi colocada metade da água da mistura e, em seguida, adicionaram-se os resíduos de borracha de pneu e a brita 1. Esses materiais foram misturados durante 1 minuto na betoneira, para que os resíduos que estivessem colados um nos outros se soltassem (Figura 27).

Figura 27 - Detalhe da betoneira onde é feita a mistura dos materiais e a caixa onde cai o concreto



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Em seguida adicionaram-se a areia e o cimento e misturou-se por mais 1 minuto. A massa ficou por três minutos descansando e, em seguida, misturou-se por mais 3 minutos com o restante da água. Após isto, o concreto foi jogado para dentro de uma caixa, com fundo aberto, de modo que ele pudesse ser transportado pela esteira rolante até o núcleo vibratório (Figuras 28 e 29).

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

Figura 28 - Detalhe da esteira que transporta o concreto que sai da caixa até o núcleo vibratório



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 29 - Núcleo vibratório, mesmo local de vibração dos tubos e dos corpos de prova



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

Ao cair da esteira, o concreto fica entre o núcleo vibratório e a fôrma de aço do tubo. Neste local ele será vibrado e, depois de endurecer, será transportado para o local de armazenamento, onde ele sofrerá um acabamento interno e externo. E a cura será por aspersão (Figuras 30 e 31).

Figura 30 - Um tubo pronto, envolvido pela forma metálica externa, sendo transportado para o local de depósito, e aplicando o acabamento do lado interno do tubo



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 31 - Tubo de concreto com resíduo de borracha de pneu acabado, com cura realizada ao ar livre



Fonte: Dados da pesquisa do autor

3.4 ENSAIOS REALIZADOS

Os tubos de concreto utilizados nesta pesquisa possuem 600 mm de diâmetro nominal e 1,5 m de comprimento, destinados ao uso de canalizações de drenagem de águas pluviais. Para a pesquisa, foram fabricados tubos simples e tubos com resíduos de borracha de pneu com cinco tipos diferentes de teores de borracha (B1, B2, B3, B4 e B5). Foram realizados os ensaios de:

- compressão diametral no próprio tubo de concreto;
- absorção em amostras retiradas dos tubos após ensaio de compressão diametral.

Onde,

B1: Tubo com resíduo de borracha - teor 10 kg/m³;

B2: Tubo com resíduo de borracha - teor 15 kg/m³;

B3: Tubo com resíduo de borracha - teor 20 kg/m³;

B4: Tubo com resíduo de borracha - teor 25 kg/m³;

B5: Tubo com resíduo de borracha - teor 30 kg/m³.

PS: Tubo sem resíduo de borracha – valor adotado (FUGII, 2008).

Para o ensaio de absorção, foram retiradas amostras de três regiões de cada tubo ensaiado, com área de superfície de 100 a 150 cm².

Os ensaios foram realizados após 90 dias da fabricação, devido ao transporte e disponibilidade da empresa.

3.5 MÉTODOS DE ENSAIOS

3.5.1 Ensaio de Compressão Diametral

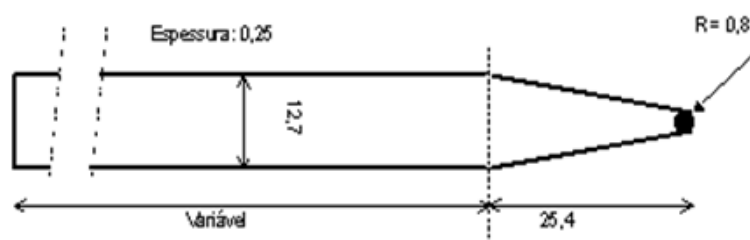
3.5.1.1 *Tubos de Concreto Simples e Armados*

O ensaio de compressão diametral dos tubos de concreto foi feito seguindo a norma NBR 8890 de 2007.

Para tubos de concreto simples, determina-se somente a carga de ruptura, ao contrário dos tubos de concreto armado, cujo objetivo é a determinação dos valores efetivos da carga de fissura e de ruptura. A abertura da fissura é medida por meio de uma lâmina padrão feita de chapa de aço de 0,25 mm de espessura e largura de 12,7 mm, afinada na ponta para 1,6 mm (em que o raio mede 0,8 mm) de largura, com cantos arredondados e com inclinação de 1:4,

conforme apresentado na figura 32. Considera-se que ocorra uma fissura com abertura de 0,25 quando a ponta da lâmina padrão penetrar, sem dificuldade, a uma profundidade de 1,6mm, com pequenos intervalos, na distância de 300 mm.

Figura 32 - Lâmina padrão para medida de abertura de fissura de 0,25 mm



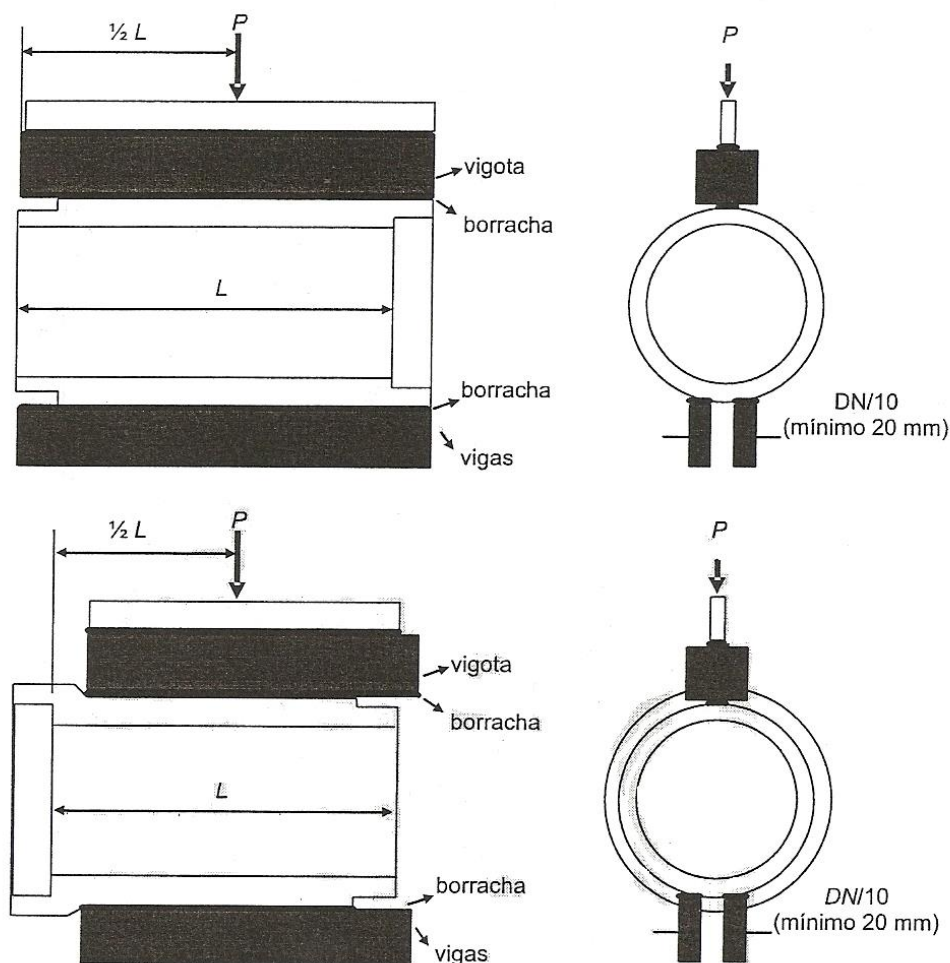
Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007)

Inicia-se o ensaio com a medição do comprimento útil (L) do tubo em três geratrizes, defasadas entre si de um ângulo de 120 graus, sendo o valor do comprimento útil igual à média das três medidas. Coloca-se o tubo deitado sobre apoios planos e horizontais, dispostos paralela e simetricamente em relação ao seu eixo, esses apoios consistem em sarrafos retos de madeira de comprimento igual ou superior à do tubo; ao longo da geratriz do tubo, coloca-se uma vigota reta de madeira de comprimento maior ou igual ao do tubo. Para evitar a localização de esforços em possíveis irregularidades do tubo, pode-se intercalar, entre o tubo e cada cutelo, uma tira de borracha com cerca de 5 mm de espessura ou uma camada de areia.

Deve-se dispor o conjunto de modo que o ponto de aplicação da carga coincida com a metade do valor do comprimento útil do tubo, de maneira a garantir a distribuição uniforme da carga ao longo do seu comprimento. A carga deve ser aplicada com taxa de variação constante, e não inferior a 5 kN/min, e nem superior a 35 kN/min, por metro de tubo.

Ao iniciar o ensaio, quando o tubo começar a apresentar fissuras visíveis, deve-se utilizar a lâmina-padrão para determinar a carga de fissura. A partir desta carga, o ensaio deve continuar com a mesma taxa de aplicação de carga, elevando-se a carga até atingir a ruptura do tubo, determinando-se, assim, a carga de ruptura.

Figura 33 - Esquema do ensaio para tubo ponta e bolsa, e macho e fêmea



Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007)

3.5.1.2 Tubos de Concreto com Resíduos de Borracha de Pneu

O ensaio foi realizado no laboratório CESP de Engenharia Civil, em Ilha Solteira-SP, em escala real, ou 1:1; o monitoramento foi realizado através de um aquisitor de dados da marca Iotech (Daqbook 120) conectado a um microcomputador através do Software DasyLab (versão 6.0), pertencente ao Núcleo de Ensino e Pesquisa de Alvenaria Estrutural (NEPAE), da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP-FEIS). A aparelhagem fornece a leitura de carga aplicada no tubo através de uma célula de carga com capacidade máxima para 50 toneladas, acoplada entre o pistão do macaco hidráulico e a viga de distribuição do carregamento aplicado, como mostram as figuras 34 e 35. Para o ensaio, foi utilizada uma rótula de modo a permitir a acomodação das deformações, levando-se em conta que o tubo não tem suas dimensões perfeitamente cilíndricas.

Figura 34 - Sistema de aquisição de dados da marca Iotech (Daqbook 120), conectado a um microcomputador através do software DasyLab (versão 6.0)



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 35 - Sistema de aplicação de carga composto pelo pistão, célula de carga, rótula e viga de distribuição do carregamento aplicado



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

O aquisitor também pode fazer as leituras do deslocamento diametral obtido através dos relógios comparadores. No entanto, para o ensaio de tubos de concreto com resíduos de borracha de pneu, esse recurso não foi utilizado, uma vez que não se conhecia o comportamento da estrutura diante da aplicação da carga, e se romperia bruscamente ou não.

Na figura 36, observa-se a prensa hidráulica que aplica a força através do pistão, e o operador realizando a leitura da carga por meio de um manômetro analógico.

Figura 36 - Prensa hidráulica com o operador



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Em tubos de concreto reforçados com fibras, de aço, deve-se obedecer ao plano de carregamento apresentado na figura 37. Esse plano de carregamento, para tubos com fibras de aço, consiste no seguinte processo: depois de obtida a carga mínima isenta de dano (valor tabelado que está em anexo B), o tubo deve permanecer por 1 minuto com esta carga; depois, deve-se prosseguir o carregamento até atingir a carga de ruptura; em seguida, deve-se descarregar e carregar novamente até o valor da carga mínima isenta de dano e esperar mais 1 minuto; por fim, deve-se carregar até atingir 5% a mais do valor da carga mínima isenta de dano. Nesta pesquisa foi adotado, inicialmente, esse procedimento, pois não se sabia ao certo se o resíduo de borracha de pneu teria ou não o comportamento semelhante ao de uma fibra de aço.

A figura 38 mostra o tubo de concreto reforçado com resíduo de borracha após a ruptura sem aviso prévio (brusca).

Figura 37 - Esquema do plano de carregamento do ensaio de compressão diametral para tubos reforçados com fibras de aço

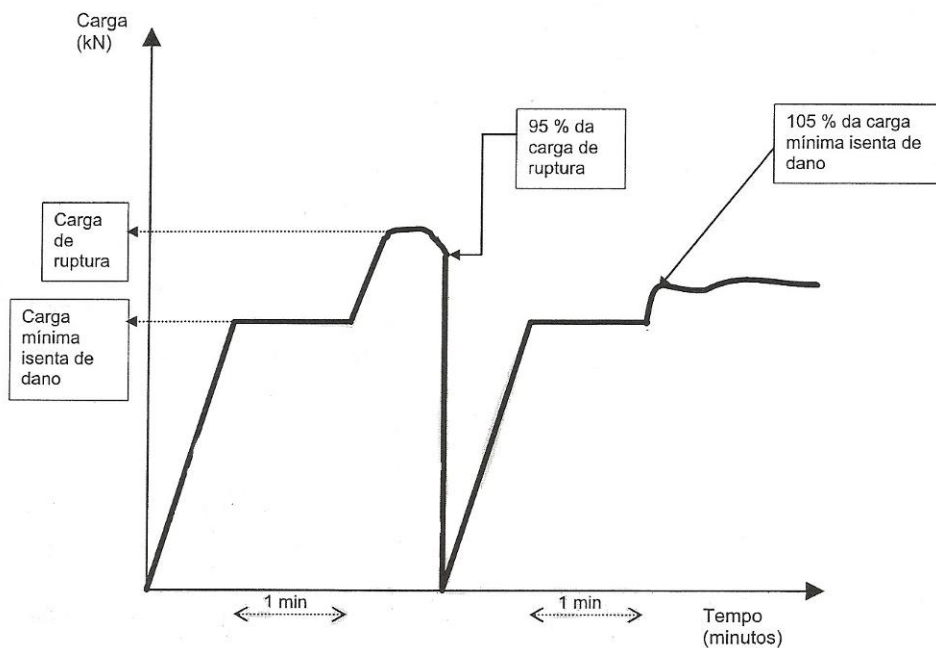


Figura 38 - Tubo de concreto reforçado com resíduo de borracha após a ruptura brusca



Fonte: Dados da pesquisa do autor

3.5.2 Ensaio de Absorção de Água

O índice de absorção de água em tubos de concreto destinados a esgoto sanitário e água pluvial foi feito seguindo a NBR 8890 (ABNT, 2007). Dos tubos submetidos ao ensaio de compressão diametral, retiram-se dois corpos de prova indeformáveis por tubo, que resulte em uma área superficial de 100 cm² a 150 cm², isentos de fissuras visíveis.

Os corpos de prova devem ser secos em estufa, com temperatura mantida no intervalo de (105 ± 5)°C, pelo período mínimo de oito horas, até que, em duas pesagens consecutivas, com intervalo não inferior a duas horas, indiquem variação de perda de massa inferior a 0,1% da sua massa original. Depois de secos, são colocados em recipientes apropriados, imersos em água potável em ebulição (100 °C) e mantida a água em fervura por cinco horas. Após isso, deixam-se os corpos de prova esfriarem junto com a água em seus respectivos recipientes até a temperatura ambiente; em seguida, as amostras devem ser secas com toalha, pano úmido ou papel absorvente, e pesadas.

O índice de absorção de água é dado por:

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} * 100$$

Onde:

A: índice de absorção de água (%);

M₀: massa do corpo de prova seco (g);

M₁: massa do corpo de prova após o ensaio saturado (g).

A absorção máxima de água em relação à sua massa seca limita-se a 6% para esgoto sanitário e 8% para água pluvial.

A retirada dos corpos de prova para o ensaio de absorção foi realizada após o término do ensaio de compressão diametral.

Capítulo

4**APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO
DOS RESULTADOS**

São apresentados os resultados dos ensaios com tratamento estatístico, feitos com base na norma NBR 7215 (ABNT, 1997), que define os seguintes parâmetros:

- 1) resistência individual – calcular a resistência, em MPa, de cada corpo de prova;
- 2) resistência média – calcular a média das resistências individuais, em MPa, dos corpos de prova ensaiados na mesma idade; o resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo;
- 3) desvio relativo máximo – calcular o desvio relativo máximo da série de resultados indicados no item 2, dividindo-se o valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média, para mais ou para menos, pela resistência média e multiplicando-se o quociente por 100;
- 4) quando o desvio relativo máximo for superior a 6%, deve-se calcular uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o; persistindo o fato, deve-se eliminar os corpos de prova de todas as idades.

4.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados dos ensaios de compressão diametral, com tratamento estatístico, dos tubos de concreto com e sem resíduos de borracha de pneu, estão apresentados na tabela 9 e na figura 39. Os valores obtidos por meio do ensaio de compressão diametral dos tubos de concreto com resíduos de borracha de pneu se encontram-se em apêndice A.

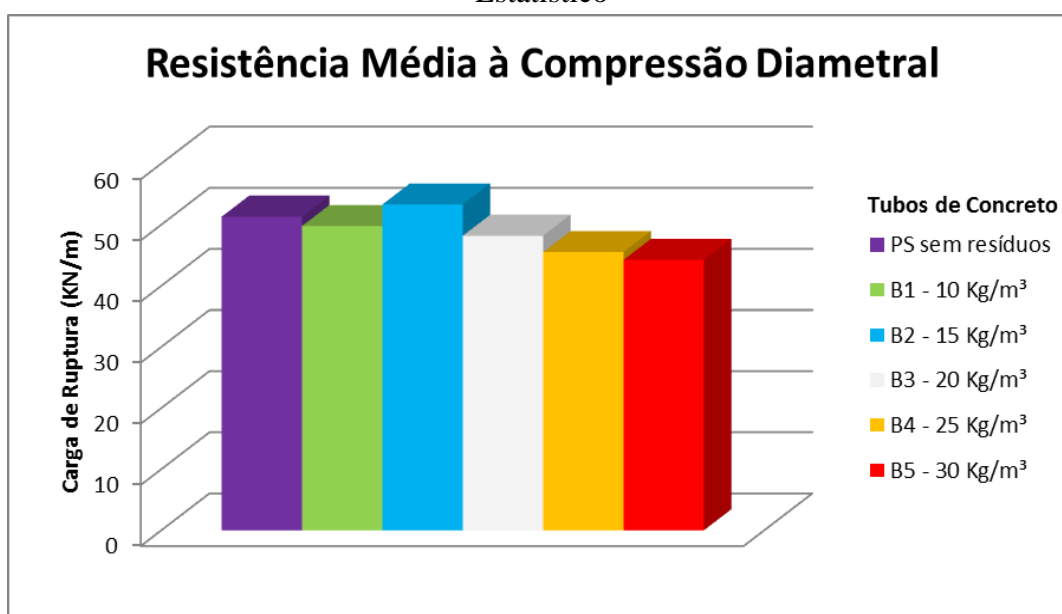
O resultado do ensaio de compressão diametral dos tubos de concreto simples (PS sem resíduos) foi extraído do trabalho de (FUGII, 2008).

Tabela 9 - Resultado do Ensaio de Compressão Diametral com Tratamento Estatístico

Resultado do Ensaio de Compressão Diametral dos Tubos com Resíduos de Borracha de Pneu									
Tubos	CP	Carga de Ruptura (kN/m)	Carga de Ruptura Média (kN/m)	Desvio Relativo (%)	Situação	Nova Carga de Ruptura Média (kN/m)	Novo Desvio Relativo (%)	Situação Final	
PS sem resíduos	1.1	50,0	51,3	2,5	Ok	51,3		Utilizado	
	1.2	53,0		3,3	Ok				
	1.3	51,0		0,6	Ok				
B1 - 10 Kg/m ³	1.1	49,7	49,8	0,2	Ok	49,8		Utilizado	
	1.2	47,9		-3,7	Ok				
	1.3	51,7		-3,9	Ok				
B2 - 15 Kg/m ³	2.1	42,7	49,8	14,2	Eliminado	53,3		Eliminado	
	2.2	54,3		-9,1	Recalcula			2	Utilizado
	2.3	52,3		5,2	Recalcula			2	Utilizado
B3 - 20 Kg/m ³	3.1	49,8	48,2	1,5	Ok	48,2		Utilizado	
	3.2	47,5		-1,3	Ok				
	3.3	47,2		2,0	Ok				
B4 - 25 Kg/m ³	4.1	45,1	44,0	2,6	Recalcula	45,5		1	
	4.2	40,9		6,9	Eliminado				Eliminado
	4.3	45,9		4,3	Recalcula			1	Utilizado
B5 - 30 Kg/m ³	5.1	35,7	41,4	13,7	Eliminado	44,2		Eliminado	
	5.2	41,9		-1,3	Recalcula			5	Utilizado
	5.3	46,5		12,4	Recalcula			5	Utilizado

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 39 - Resultado Médio do Ensaio de Compressão Diametral, com Tratamento Estatístico

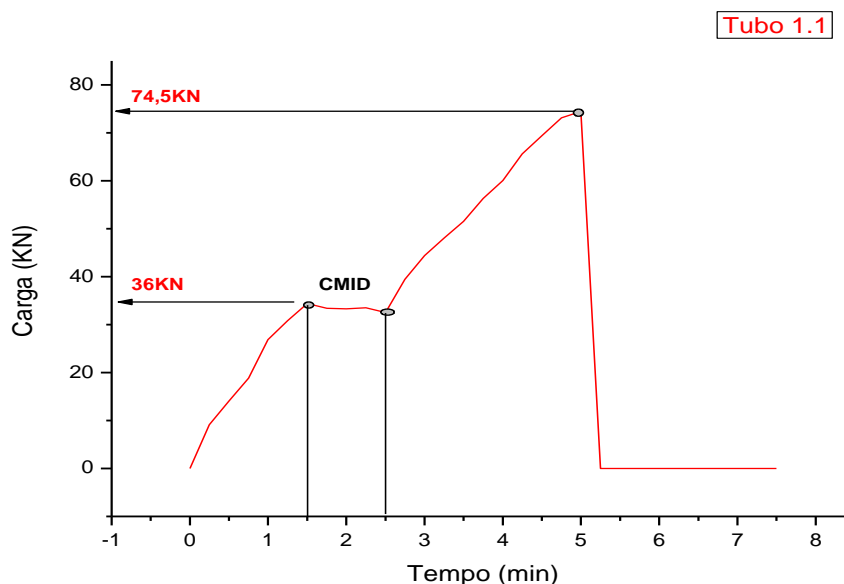


Fonte: Dados da pesquisa do autor

4.2 GRÁFICOS “CARGA POR TEMPO”, PARA TUBOS COM RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU

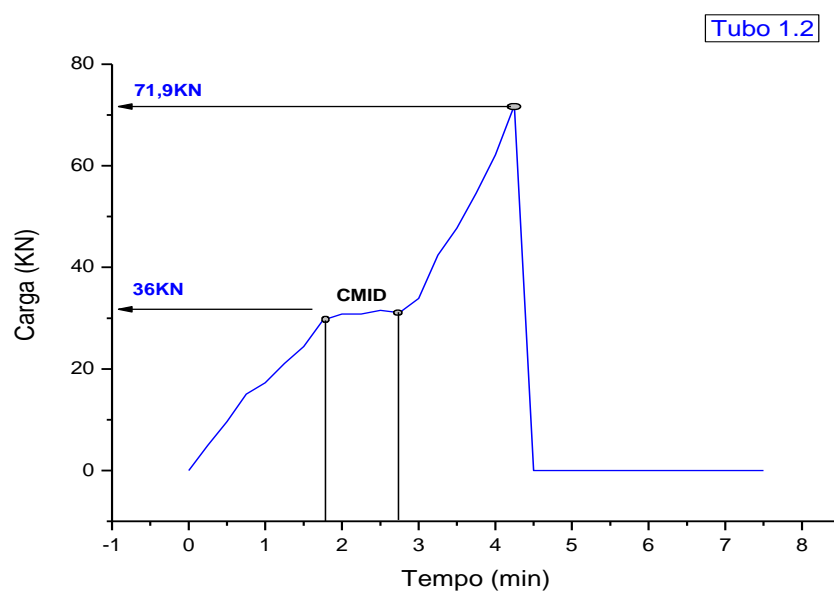
Nas figuras 40 a 54, apresentam-se os comportamentos de carga por tempo, para os tubos de concreto com resíduos de borracha de pneu, durante a realização dos ensaios de compressão diametral. Após atingir a Carga Mínima Isenta de Dano (CMID), definido pela norma, o tubo deve suportar esse carregamento por um minuto; em seguida, o carregamento deve ser aumentado até que o tubo atinja a ruptura. Caso o resíduo tivesse um comportamento de fibra, o que não aconteceu, a carga deveria ser retirada e em seguida aplicada novamente até atingir o valor da carga mínima isenta de dano; esse carregamento deveria ser suportado por um minuto e, em seguida, o carregamento deveria ser aumentado até que atingisse o valor correspondente a 5% a mais do valor da carga mínima isenta de dano.

Figura 40 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o primeiro tubo do traço B1, com adição de 10 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 1.1, traço B1 = 10 Kg/m³)



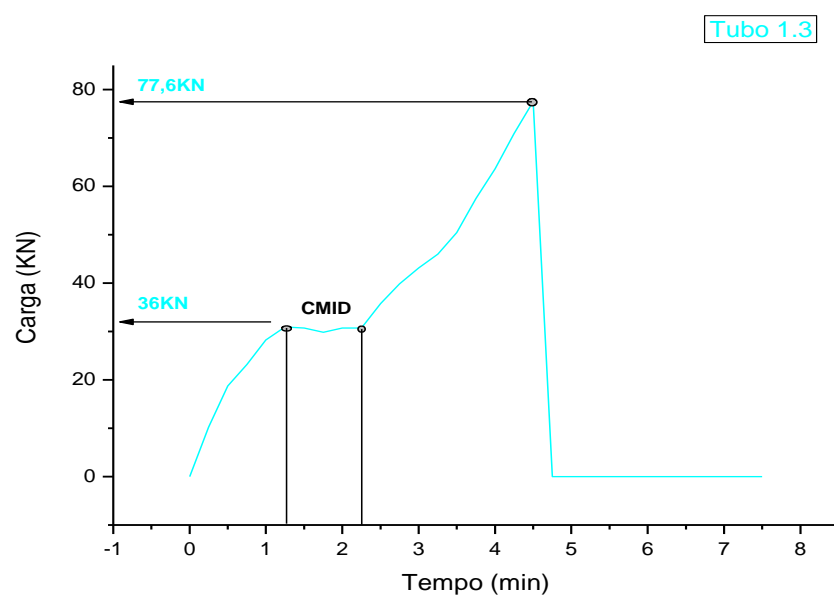
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 41 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o segundo tubo do traço B1, com adição de 10 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 1.2, traço B1 = 10 Kg/m³)



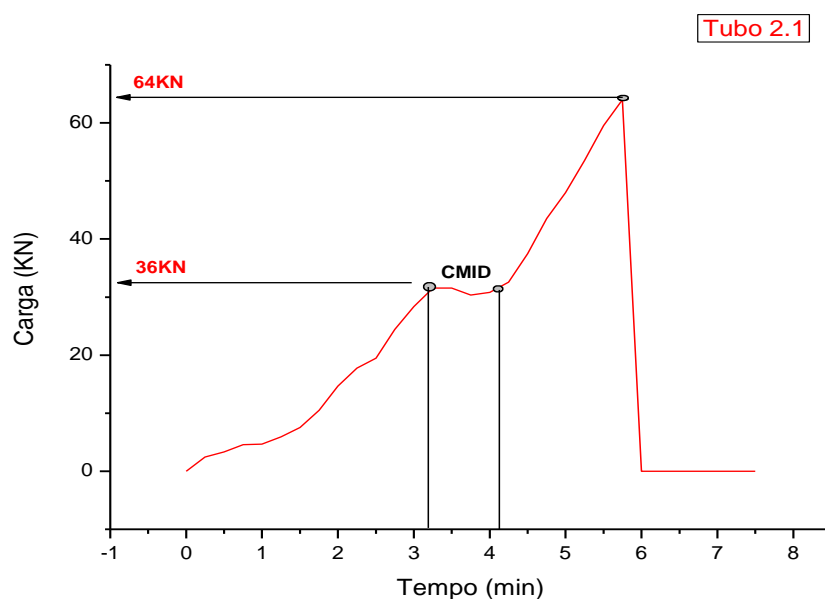
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 42 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o terceiro tubo do traço B1, com adição de 10 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 1.3, traço B1 = 10 Kg/m³)



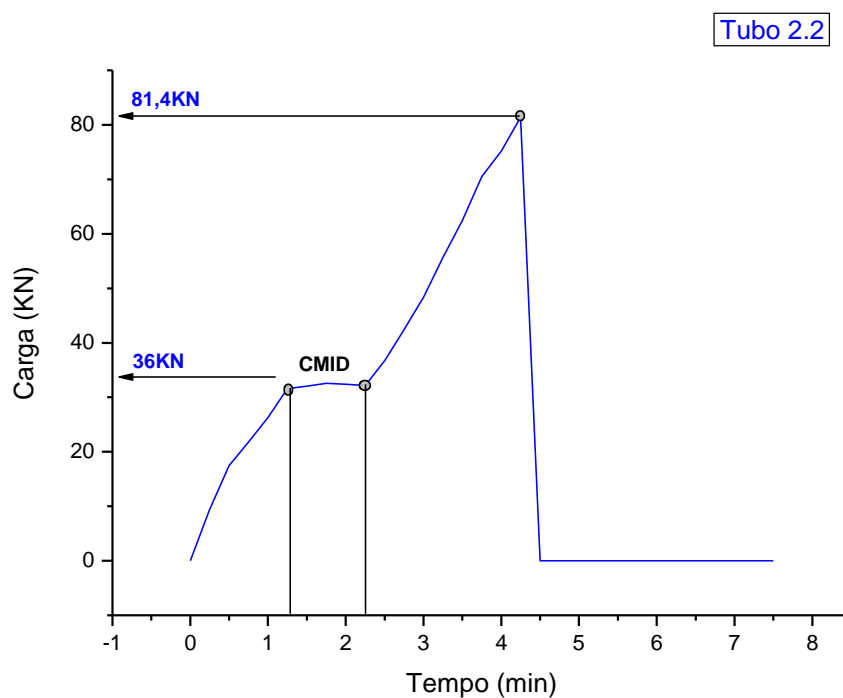
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 43 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o primeiro tubo do traço B2, com adição de 15 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 2.1, traço B2 = 15 Kg/m³)



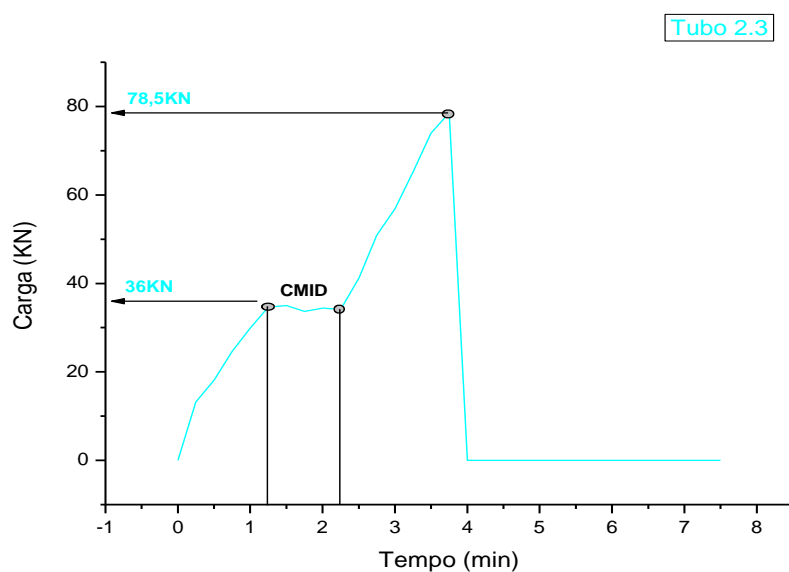
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 44 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o segundo tubo do traço B2, com adição de 15 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 2.2, traço B2 = 15 Kg/m³)



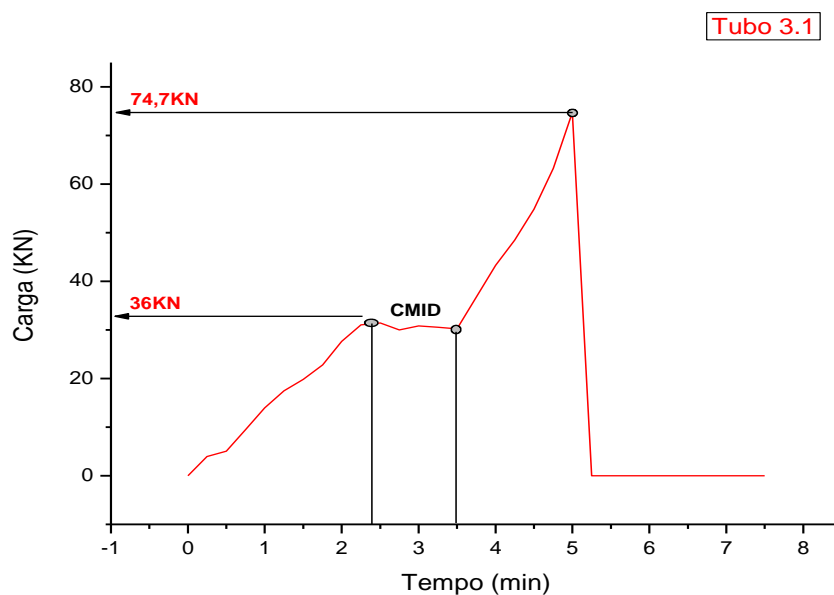
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 45 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o terceiro tubo do traço B2, com adição de 15 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 2.3, traço B2 = 15 Kg/m³)



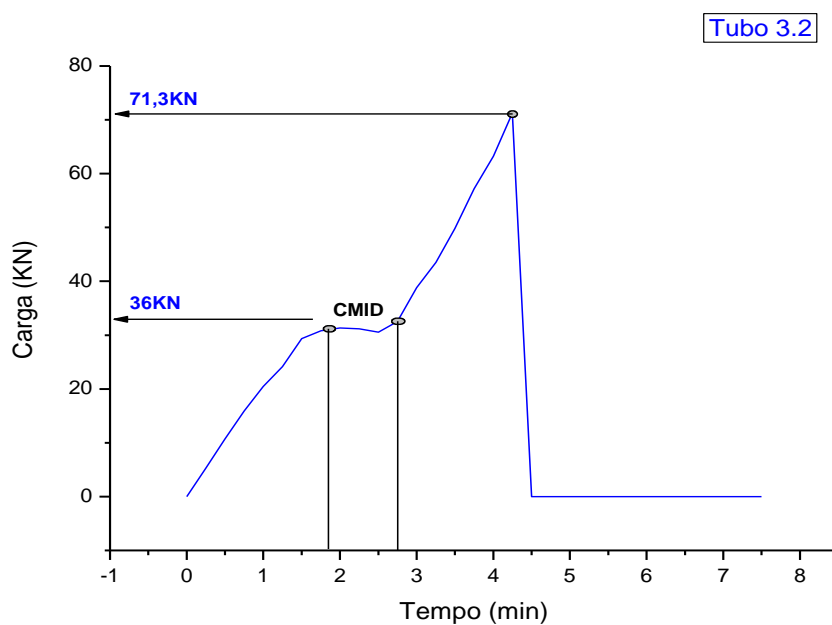
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 46 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o primeiro tubo do traço B3, com adição de 20 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 3.1, traço B3 = 20 Kg/m³)



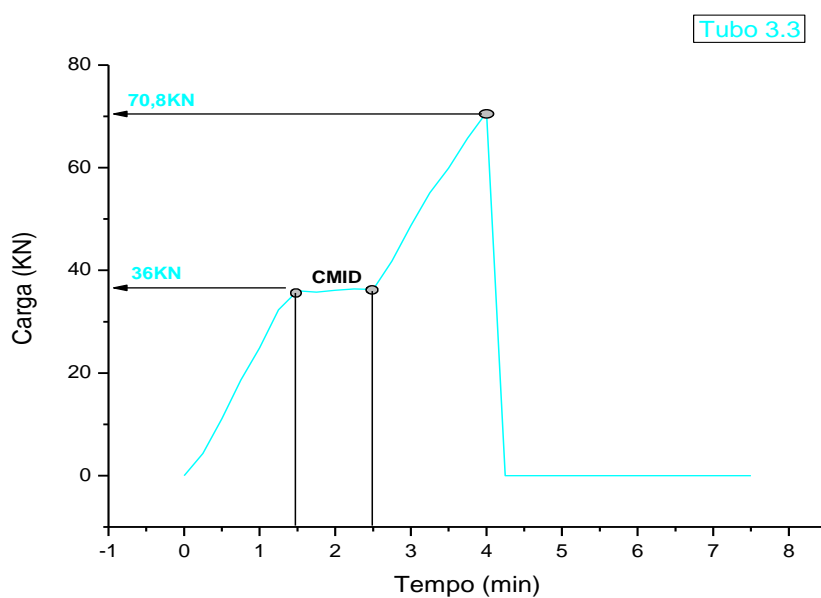
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 47 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o segundo tubo do traço B3, com adição de 20 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 3.2, traço B3 = 20 Kg/m³)



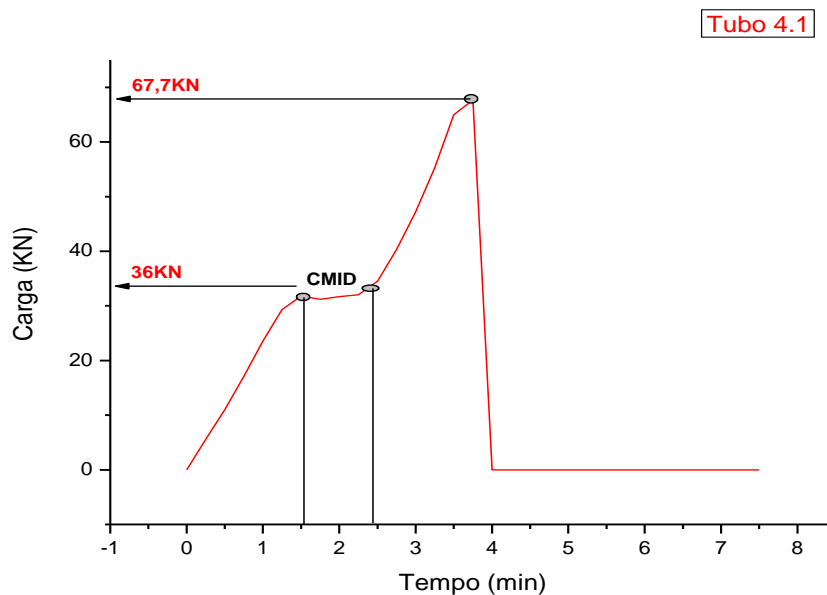
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 48 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o terceiro tubo do traço B3, com adição de 20 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 3.3, traço B3 = 20 Kg/m³)



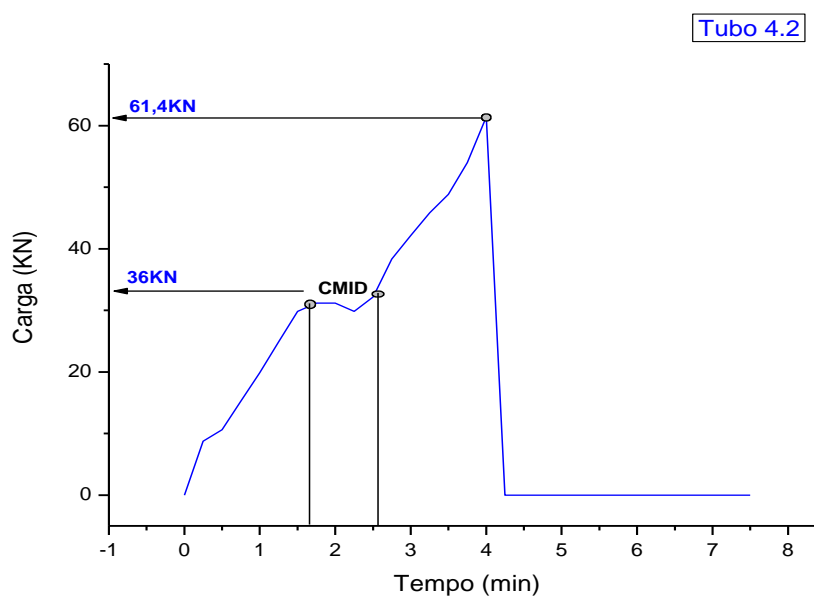
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 49 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o primeiro tubo do traço B4, com adição de 25 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 4.1, traço B4 = 25 Kg/m³)



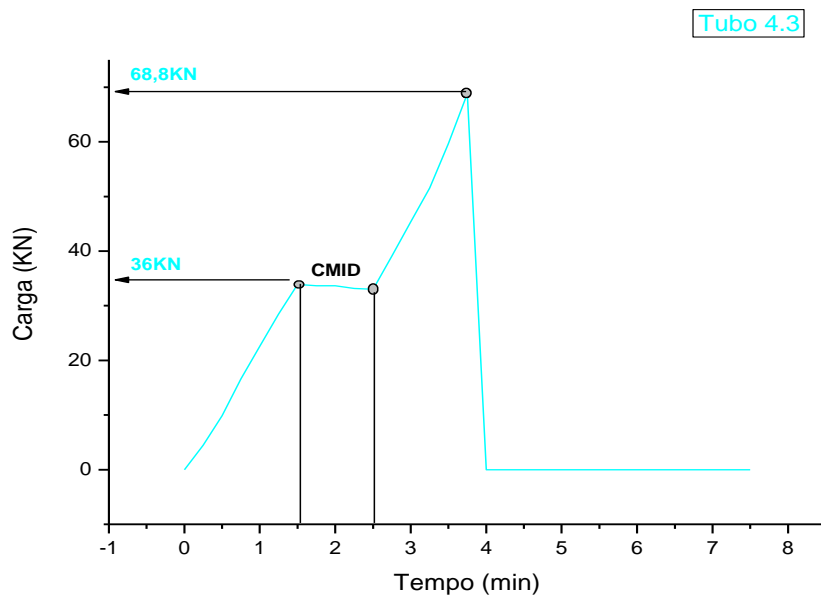
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 50 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o segundo tubo do traço B4, com adição de 25 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 4.2, traço B4 = 25 Kg/m³)



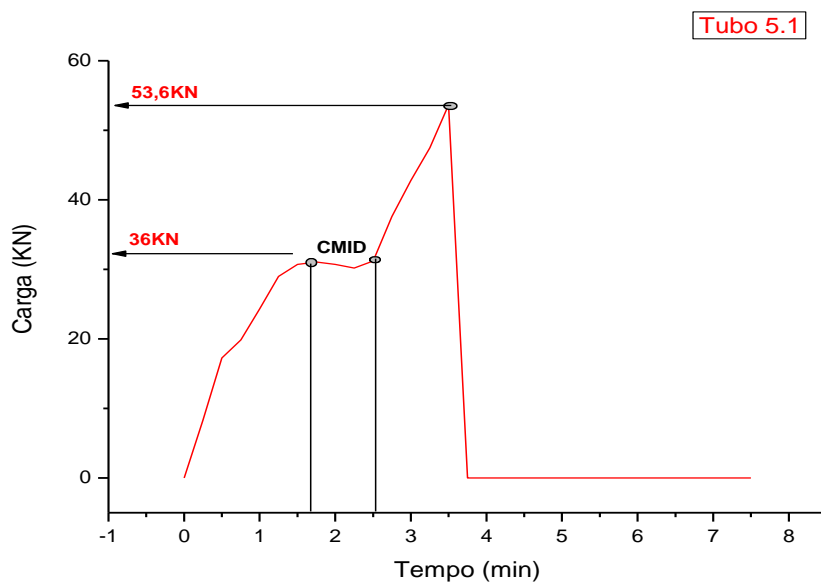
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 51 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o terceiro tubo do traço B4, com adição de 25 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 4.3, traço B4 = 25 Kg/m³)



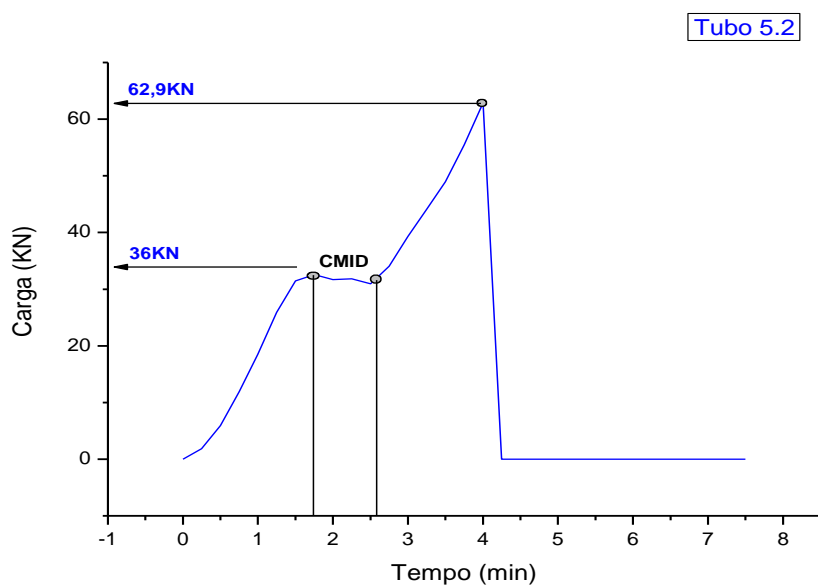
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 52 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o primeiro tubo do traço B5, com adição de 30 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 5.1, traço B5 = 30 Kg/m³)



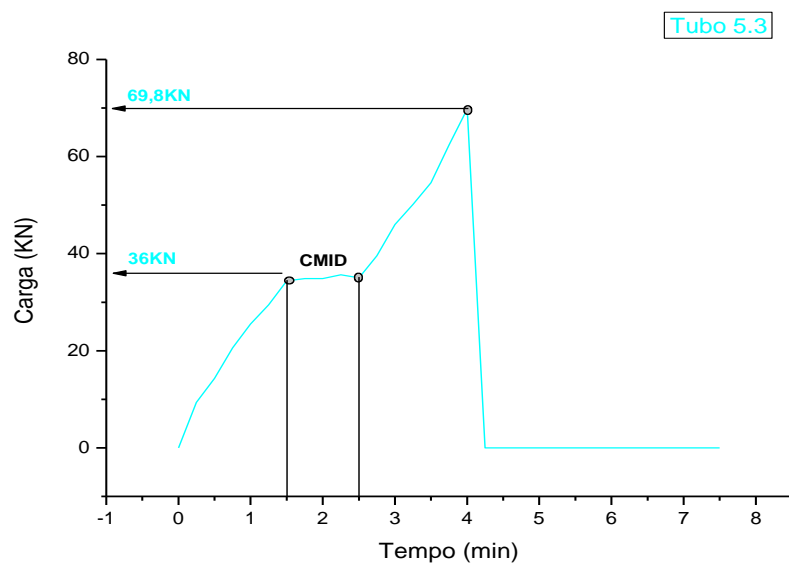
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 53 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o segundo tubo do traço B5, com adição de 30 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 5.2, traço B5 = 30 Kg/m³)



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 54 - Resultado do ensaio de compressão diametral para o terceiro tubo do traço B5, com adição de 30 kg de resíduos para cada m³ de concreto (Tubo 5.3, traço B5 = 30 Kg/m³)



Fonte: Dados da pesquisa do autor

4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A tabela 10 mostra o resultado médio do ensaio de absorção de água, para cada teor de borracha dos tubos de concreto. Os resultados individuais encontram-se em apêndice B.

O resultado do ensaio de absorção de água do tubo de concreto simples (PS sem resíduos) foi extraído do trabalho de Fugii (2008).

Tabela 10 - Resumo do Ensaio de Absorção de Água para os Tubos com e sem Resíduos de Borracha

Tubo	Absorção Média (%)
PS sem resíduos	4,1
B1 - 10 Kg/m ³	3,7
B2 - 15 Kg/m ³	3,7
B3 - 20 Kg/m ³	4,0
B4 - 25 Kg/m ³	4,1
B5 - 30 Kg/m ³	4,0

Fonte: Dados da pesquisa do autor

4.4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na caracterização do cimento CP V-ULTRA, no item análise química, a quantidade máxima de MgO e SO₃ não respeita a quantidade especificada na norma. O óxido de magnésio (MgO) está 6,3% acima do recomendado pela norma. O problema da quantidade excessiva desse óxido é que ele pode reagir com a água, quando esta está em excesso, e transformar-se lentamente em hidróxido de magnésio (Mg(OH)₂), aumentando seu volume e podendo criar tensões internas suficientes para propiciar o surgimento de fissuras no concreto. O teor de óxido de enxofre (SO₃) está 14,5% acima do recomendado pela norma. Este composto químico apresenta o mesmo comportamento que o do óxido de magnésio, já que seu excesso também pode criar expansão no volume do concreto.

Muitas empresas produtoras de tubos de concreto utilizam esse tipo de cimento para ter um ganho rápido de resistência nos primeiros dias, mesmo que, ao chegar no 28º dia, a resistência esteja bem acima do que a norma pede. Isso ajuda muito, pois as empresas vendem os tubos mesmo quando ainda não se tenha terminado o período de cura, já que, devido a custos, não compensa manter estoques com elevada quantidade de tubos. Logo, as empresas

preferem gastar mais com cimento, obtendo resistências mais elevadas nos primeiros dias, do que manter uma grande quantidade de tubos no estoque.

Na curva de distribuição granulométrica da areia, foi constatada que em uma pequena parte a curva ficou fora da zona ótima, mas ainda ficou dentro da zona utilizável. Portanto, nada que pudesse comprometer a pesquisa nesse quesito.

Analisando a caracterização da brita 1, observou-se que a curva granulométrica está um pouco abaixo da especificação, conforme figura 21. Isso indica que o material possui uma maior quantidade de material de granulometria mais fina. Logo, esse material pode não ter o travamento adequado entre seus constituintes, levando à ruptura antes do previsto.

A figura 26 mostra a distribuição granulométrica dos resíduos de borracha de pneu, dentro de uma granulometria de agregado miúdo, no caso da areia grossa. Observa-se que somente 15% dos resíduos apresentam granulometria de areia grossa; o restante possui granulometria superior. Como não existe normalização para adequação da granulometria dos resíduos de borracha, esse material foi considerado como tendo uma granulometria correspondente à de uma areia grossa para fins de comparação com o agregado que foi utilizado na pesquisa.

O traço do concreto foi desenvolvido para um saco de cimento. Esta foi a forma mais fácil que a empresa achou de modo a otimizar a produção dos tubos de concreto.

A quantidade de resíduos de borracha de pneu utilizada em cada traço foi determinada com base no trabalho de Fugii (2008), que utilizou uma quantidade correspondente, em peso, de fibras de aço. Este procedimento foi realizado de modo a verificar se os resíduos de borracha de pneu apresentariam o comportamento de fibras, o que não ocorreu.

Segundo a norma NBR 8890 (ABNT, 2007), a respeito do ensaio de compressão diametral para tubos de concreto, recomenda-se que se façam dois ensaios para cada lote composto por 100 tubos. Já a norma NBR 7215 (ABNT, 1997), que determina o manuseio dos resultados com tratamento estatístico, diz que há a necessidade de se pegar quatro amostras. Neste trabalho, pegaram-se somente três amostras em função dos custos envolvidos na fabricação dos tubos e da logística da empresa que os produziu para esta pesquisa.

No ensaio de compressão diametral apresentado nas figuras 40 até 54, observou-se que não foi completado totalmente o ensaio de acordo com a norma NBR 8890 (ABNT, 2007), que está representado na figura 37, pois houve uma ruptura brusca dos tubos para todos os traços de concreto com resíduos de borracha de pneu. Logo, a segunda etapa do ensaio, que

seria o recarregamento, não foi possível ser executada. A forma brusca de ruptura indicou que o resíduo de borracha de pneu não funcionou como fibra.

No ensaio de compressão diametral, na carga de ruptura, teoricamente, o tubo de concreto sem resíduos de borracha de pneu teria que obter o maior valor, mas não foi o que ocorreu, já que o tubo com o traço B2 obteve o maior valor. Teoricamente, quanto maior o teor de resíduos de borracha de pneu incorporado ao concreto, menor será a sua resistência; no entanto, este comportamento não foi observado para o traço B2.

Uma das dificuldades observadas na realização desse ensaio foi o fato da máquina que aplica a carga para a execução do ensaio ser manual, o que depende muito da sensibilidade do operador. Observa-se nos gráficos de carga por tempo que, por exemplo, no patamar da Carga Mínima Isenta de dano (CMID), ocorreram pequenas oscilações, mas nada que poderia comprometer o resultado final do ensaio.

Conforme mostrado nos resultados, o ensaio de absorção foi realizado segundo a NBR 8890 (ABNT, 2007). Verificou-se que o índice de absorção média para todos os tubos estão situados na faixa de 3,7% a 4,14%, sendo que a norma estabelece uma absorção máxima para tubos destinados à drenagem de água pluvial igual a 8%. Portanto, a adição dos resíduos de borracha de pneu no concreto não alterou o comportamento dos tubos ensaiados, em relação à absorção de água, como foi mostrado na tabela 10.

Capítulo

5

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES FINAIS

Os teores dos elementos MgO e SO₃, constituintes do cimento utilizado na pesquisa, não se encontram dentro da norma, conforme tabela 3; logo, esse tipo de cimento não seria o mais indicado, já que poderia provocar uma expansão no volume de concreto.

A granulometria da areia se encontra dentro da faixa utilizável; já a brita 1 está fora da faixa, o que poderia comprometer a resistência do concreto; no entanto, pelo ensaio de compressão diametral, não houve problemas com relação à resistência dos tubos.

Na produção dos tubos de concreto, utiliza-se um concreto de consistência mais seca, já que os tubos precisam ser desformados em poucos minutos de modo a continuar a produção dos demais. O uso deste tipo de concreto implica em uma maior dificuldade na trabalhabilidade. Como o resíduo de borracha de pneu foi adicionado durante a confecção do concreto, não houve um aumento na dificuldade de produção do mesmo, ou seja, não se criou uma nova etapa na produção, já que os resíduos se homogenizaram na mistura. Já tubos de concreto armado exigem a elaboração de armadura, aumentando uma nova etapa em sua produção.

Esta pesquisa teve por objetivo realizar a análise de tubos de concreto com resíduos de borracha de pneu, verificando se eles atendem à norma vigente NBR 8890/2007. Nos ensaios realizados, todos os tubos apresentaram valores de absorção de água inferiores ao máximo estabelecido pela norma. Em relação ao ensaio de compressão diametral, todos os tubos apresentaram resistência superior ao limite especificado pela norma. Portanto, pode-se observar que tubos de concreto com os teores de resíduo de borracha de pneu utilizados nesta pesquisa poderiam ser comercializados. O teor que obteve a maior resistência e menor absorção de água foi o de 15 kg/m³.

Nenhum dos tubos com resíduo de borracha de pneu conseguiu completar totalmente o ensaio de compressão diametral exigido por norma. Deste modo, o resíduo não se comportou como se fosse uma fibra, e, sendo assim, os tubos poderiam ser considerados apenas como se fossem de concreto simples (PS 2).

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros seria indicada a realização de ensaios de tubos de concreto com teores de resíduos de borracha de pneu diferentes dos que foram utilizados nesta pesquisa.

Outra idéia seria aumentar o comprimento dos resíduos de borracha de pneu, para ver se eles resistiriam a ponto dos tubos não sofrerem uma ruptura tão brusca, como foram as observadas neste trabalho.

Outras sugestões seriam aumentar a quantidade de tubos por lote a ser ensaiado, usar algum instrumento que possa medir o deslocamento dos tubos à distância, permitindo a obtenção de uma curva “carga x deslocamento”, e caracterizar o concreto utilizado na fabricação dos tubos por meio de ensaios que forneçam o módulo de elasticidade, a resistência à compressão axial e a resistência à tração por compressão diametral.

REFERÊNCIAS

AIELLO, M.; LEUZZI, F. Waste tyre rubberized concrete: properties at fresh and hardened state. **Waste Management**, New York, v. 30, n. 8-9, p. 1696-1704, 2010.

ALBUQUERQUE, A. C.; ANDRADE, W. P.; HASPARYK, N. P.; ANDRADE, M. A. S.; BITENCOURT, R. M. Adição de borracha de pneu ao concreto convencional e compactado com rolo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2006.

ALVES, M. F. **Estudo comparativo de métodos de dosagem para concreto de alta resistência**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION – ACPA. **Concrete pipe handbook**. Chicago, Aug. 1959.

AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION – ACPA. **Concrete pipe handbook**. Vienna, Jan. 1980.

AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION – ACPA. **Concrete pipe design manual**. Arlington, Feb. 1970.

AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION – ACPA. Irving, 2011. Disponível em: <www.concrete-pipe.org>. Acesso em: 22 nov. 2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. **Reciclanip**. In: SEMINÁRIO REGIONAL SUL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2., 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. **Reciclanip apresenta balanço do primeiro quadrimestre de 2011**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBOS DE CONCRETO - ABTC. 2011. Disponível em: <www.abtc.com.br>. Acesso em: 20 nov. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: cimento portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5737**: cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739**: concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos concreto. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: cimento portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7222**: argamassa e concreto - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8522**: concreto - determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2008. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8890**: tubo de concreto de secção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: cimento portland composto: especificação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 23**: cimento portland e outros materiais em pó – determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2001. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 30**: agregado miúdo – determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 45**: agregados - determinação da massa unitária, massa unitária compactada e seca e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 46**: agregados - determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 49**: agregado fino – determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 52:** agregado miúdo – determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 53:** agregado graúdo - determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 65:** cimento portland – determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 248:** agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

AZEVEDO NETTO, JOSÉ M. Cronologia dos serviços de esgoto, com especial menção ao Brasil. **Revista DAE**, São Paulo, v. 20, n. 33, abr. 1959.

BARBOSA, M. B.; MARTINS, I. R. F.; VITA, M. O.; AKASAKI, J. L. Influência da incorporação de diferentes porcentagens de resíduos de borracha de pneu no concreto de alto desempenho. In: JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 32., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2006. p. 2396-2404.

BATAYNEH, M. K.; MARIE, I.; ASI, I. Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries. **Waste Management**, New York, v. 28, p. 2171-2176, 2008.

BAZANI, A. **Descarte de pneus inutilizados:** um problema com soluções óbvias e baratas, mas que ainda é um grande desafio para muitas empresas de transporte. 12 dez. 2009. Disponível em: <<http://onibusbrasil.com/blog/2009/12/12/descarte-de-pneus-inutilizados-um-problema-com-solucoes-obvias-e-baratas-mas-que-ainda-e-um-grande-desafio-para-muitas-empresas-de-transporte>>. Acesso em: 12 jan. 2010.

BENAZZOUK, A.; DOUZANE, O.; MEZREB, K.; LAIDOUDI, B.; QUÉNEUDEDEC, M. Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modelling. **Construction and building materials**, Amsterdam, v. 22, p. 573-579, 2008.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto:** inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: Pini; Goiânia: Editora UFG, 1997.

CHAMA NETO, P. J. **Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço.** 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CHAMA NETO, P. J. **Tubos de concreto:** projeto, dimensionamento, produção e execução de obras. Jaraguá do Sul: Gráfica Régis, 2004. 115p.

CHAMA NETO, P. J.; FIGUEIREDO, A. D. **Critérios de projeto de dimensionamento de tubos de concreto para esgotos sanitários.** São Paulo: EPUSP, 2002. 11p. (Boletim Técnico, BT/PCC/328).

FAZZAN, J. V. **Comportamento estrutural de lajes pré-moldadas treliçadas com adição de Resíduos de Borracha de Pneu**. 2011. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: EPUSP, 2000. 68p. (Boletim Técnico, BT/PCC/260).

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

FRANÇA, V. H. **Aderência aço-concreto**: uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha. 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas**. 2007. 121f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

FUGII, A. P. **Avaliação de tubos de concreto reforçados com fibras de aço segundo a NBR 8890**. 2008 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira - SP. 2008.

FUGII, A. P.; AKASAKI, J. L.; SALLES, F. M. Tubos de concreto reforçado com fibras de aço. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Bento Gonçalves: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. (CD-ROM).

GANJIAN, E.; KHORAMI, M.; MAGHSOUDI, A. A. Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 23, p. 1828-1836, 2009.

GEBARA, D. **Esgoto sanitário**. Ilha Solteira: Unesp/FEIS/Departamento de Engenharia Civil, 2004.(Notas de aula).

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneus**. 2008. 105f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GOMES FILHO, C. V. **Levantamento do potencial de resíduos de borracha no Brasil e avaliação de sua utilização na indústria da construção civil**. 2007. 137f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2007.

GUIMARÃES, A. T. C.; RECENA, F. A. P.; PEREIRA, F. M. Produtos de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil: e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. v. 2.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 2005. 350p.

HELENE, P.; TIBÉRIO, A. O concreto: da era clássica à contemporânea. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Materiais de construção civil: e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. v. 2, p. 905-944.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB**. Rio de Janeiro, 2008.

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2002. 127f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Reciclagem de pneus: discussão do impacto da política brasileira. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 11, 2009.

LOPES, M. D.; MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L. Estudo de dosagens para obter concretos com resíduos de borracha de pneu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Recife. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2005.

MARQUES, M. L.; MARQUES, A. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. Avaliação do comportamento da argamassa adicionada de diferentes granulometrias de borracha após tratamento superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Recife. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2005.

MARTINS, I. R. F. **Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu**. 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MENEGHINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com o emprego de pó de borracha**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MINDESS, S. Fibre reinforced concrete: challenges and prospects. In: UNIVERSITY-INDUSTRY WORKSHOP ON FIBER REINFORCED CONCRETE AND OTHER ADVANCED MATERIALS, 2., 1995, Toronto, Canada. **Proceedings...** Toronto: [s.n.], 1995. 12 p.

NGUYEN, T-H.; TOUMI, A.; TURATSINZE, A. Mechanical properties of steel fibre reinforced and rubberised cement-based mortars. **Materials and Design**, Surrey, v. 31, p. 641-647, 2010.

OZBAY, E.; LACHEMI, M.; SEVIM, U. K. Compressive strength, abrasion resistance and energy absorption capacity of rubberized concretes with and without slag. **Materials and Structures**, London, v. 44, n. 7, p. 1297-1307, 2010.

PENA, E. T. **A Reforma de pneus é uma atividade “verde”**. 2011. Entrevista. Disponível em:
<<http://www.infopneus.com.br/artigos/a-reforma-de-pneus-e-uma-atividade-verde/>>. Acesso em: 5 jul. 2011.

RAMOS, M. F. **Análise experimental de tubos de concreto reforçados com fibras de aço**. 2002. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SANTOS, M. R. **Análise numérica de lajes treliçadas pré-moldadas com adição de resíduo de borracha**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, 2009.

TRIGO, A. P. M. **Estudo de lajes com adição de resíduo de pneu**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

TRIGO, A. P. M.; MARQUES, A. C.; AKASAKI, J. L.; MARINHO, J. R. D. Argamassa com adição de resíduos de borracha submetida à elevada temperatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Recife. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2005. p. 55-63.

USINA TRITURADORA ECOLÓGICA DE PNEUS – UTEP. 2006. Disponível em:
<<http://www.unilivre.org.br/centro/experiencia/experiencia/011.html>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

VASCONCELOS, A. R. B. **Análise experimental da durabilidade de concretos de alto desempenho com adição de resíduo de borracha de pneu e cinza da casca de arroz**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

ZAIDLER, W. **Projetos estruturais de tubos enterrados**. São Paulo: Pini, 1983. 106 p.

ZHANG, YaMei; WANG, Chao; LU, Yi; MA, AiBin. Comparison of the fracture process of the rubberized concrete and plain concrete under bending load. **Science China**, Beijing, v. 53, n. 6, p. 1526-1533, 2010.

ZHENG, L.; HUO, X. S.; YUAN, Y. Experimental investigation on dynamic properties of rubberized concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 22, p. 939-947, 2008.

APÊNDICE A – RESULTADO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL

Tabela 11 - Resultado do Ensaio de Compressão Diametral sem Tratamento Estatístico

Resultado do Ensaio de Compressão Diametral dos Tubos com Resíduos de Borracha de Pneu					
Tubos	CP	Carga Mínima Isenta de Dano (kN/m)	Carga de Ruptura (kN/m)	Carga de Ruptura Média (kN/m)	Carga de Recarregamento (kN/m)
B1 - 10 Kg/m ³	1.1	24,0	49,7	49,8	0,0
	1.2	24,0	47,9		0,0
	1.3	24,0	51,7		0,0
B2 - 15 Kg/m ³	2.1	24,0	42,7	49,8	0,0
	2.2	24,0	54,3		0,0
	2.3	24,0	52,3		0,0
B3 - 20 Kg/m ³	3.1	24,0	49,8	48,2	0,0
	3.2	24,0	47,5		0,0
	3.3	24,0	47,2		0,0
B4 - 25 Kg/m ³	4.1	24,0	45,1	44,0	0,0
	4.2	24,0	40,9		0,0
	4.3	24,0	45,9		0,0
B5 - 30 Kg/m ³	5.1	24,0	35,7	41,4	0,0
	5.2	24,0	41,9		0,0
	5.3	24,0	46,5		0,0

APÊNDICE B – RESULTADO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Tabela 12 - Resultados do ensaio detalhado de absorção de água para os tubos com resíduos de borracha

	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	Média Geral
Tubo 1.1 B1 – 10 Kg/m³	1	1025,4	990,6	3,51	3,70
	2	794,9	759,8	4,62	
	3	765,8	737,1	3,89	
	4	649,3	622,2	4,36	
	Média			4,10	
Tubo 1.2 B1 – 10 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	
	1	1057,2	1018,8	3,77	
	2	1042,6	1007,4	3,49	
	3	982,0	946,5	3,75	
	4	1088,0	1045,4	4,07	
Média			3,77		
Tubo 1.3 B1 – 10 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	
	1	965,3	933,2	3,44	
	2	983,6	950,9	3,44	
	3	743,1	720,3	3,17	
	4	1113,4	1082,4	2,86	
Média			3,23		
Tubo 2.1 B2 – 15 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	Média Geral
	1	997,1	960,9	3,77	
	2	730,0	696,4	4,82	
	3	838,1	803,1	4,36	
	4	1012,8	968,7	4,55	
Média			4,38		
Tubo 2.2 B2 – 15 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	3,66
	1	1333,0	1297,0	2,78	
	2	1318,3	1282,5	2,79	
	3	810,6	784,8	3,29	
	4	1524,3	1482,9	2,79	
Média			2,91		
Tubo 2.3 B2 – 15 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	
	1	798,7	769,1	3,85	
	2	1077,1	1040,0	3,57	

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

	3	1051,4	1015,3	3,56		
	4	710,0	683,7	3,85		
	Média			3,70		
Tubo 3.1 B3 – 20 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)		Média Geral
	1	713,2	682,9	4,44		
	2	668,0	640,2	4,34		
	3	906,9	871,8	4,03		
	4	823,5	790,9	4,12		
	Média			4,23		
Tubo 3.2 B3 – 20 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)		4,00
	1	1078,8	1037,6	3,97		
	2	886,0	853,5	3,81		
	3	1057,3	1017,8	3,88		
	4	850,1	817,7	3,96		
	Média			3,91		
Tubo 3.3 B3 – 20 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)		
	1	1269,3	1227,5	3,41		
	2	1227,3	1175,2	4,43		
	3	1121,2	1079,1	3,90		
	4	1031,8	995,2	3,68		
	Média			3,85		
Tubo 4.1 B4 – 25 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	Média Geral	
	1	893,5	856,6	4,31		
	2	575,5	553,2	4,03		
	3	604,3	578,3	4,50		
	4	945,5	904,5	4,53		
	Média			4,34		
Tubo 4.2 B4 – 25 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	4,14	
	1	758,7	732,3	3,61		
	2	913,0	880,7	3,67		
	3	719,3	692,7	3,84		
	4	862,3	834,4	3,34		
	Média			3,61		
Tubo 4.3 B4 – 25 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)		
	1	809,7	775,0	4,48		
	2	820,4	783,7	4,68		
	3	1191,5	1141,8	4,35		
	4	1033,7	990,1	4,40		
	Média			4,48		

Tubos de Concreto com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu

Tubo 5.1 B5 – 30 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	Média Geral
	1	908,8	871,5	4,28	
2	944,7	906,4	4,23		
3	941,0	900,7	4,47		
4	624,3	597,1	4,56		
Média			4,38		
Tubo 5.2 B5 – 30 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	4,01
	1	1083,8	1044,7	3,74	
2	927,8	889,6	4,29		
3	1052,5	1018,6	3,33		
4	1019,5	982,2	3,80		
Média			3,79		
Tubo 5.3 B5 – 30 Kg/m³	CP	Massa S.S.S.	Massa Seca	Absorção (%)	
	1	980,8	945,8	3,70	
2	1300,0	1250,8	3,93		
3	1184,6	1141,9	3,74		
4	825,5	792,9	4,11		
Média			3,87		

ANEXO A – CARGA MÍNIMA DE RUPTURA NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

Tabela 13 - Compressão diametral de tubos simples para tubos de águas pluviais e de esgotos sanitários

DN	Água Pluvial		Esgoto Sanitário
	Carga mínima de ruptura (kN/m)		Carga mínima de ruptura (kN/m)
Classe	PS1	PS2	ES
200	16	24	36
300	16	24	36
400	16	24	36
500	20	30	45
600	24	36	54

Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007)

ANEXO B – CARGA MÍNIMA DE RUPTURA E FISSURA NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

Tabela 14 - Compressão diametral de tubos armados e/ou reforçados com fibras de aço para tubos de águas pluviais

DN	Esgoto Sanitário						Água Pluvial							
	Carga mínima de fissura (tubos armados) ou carga isenta de danos (tubos com fibras de aço) (kN/m)			Carga de ruptura (kN/m)			Carga mínima de fissura (tubos armados) ou carga isenta de danos (tubos com fibras de aço) (kN/m)				Carga mínima de ruptura (kN/m)			
Classe	EA2	EA3	EA4	EA2	EA3	EA4	PA1	PA2	PA3	PA4	PA1	PA2	PA3	PA4
300	18	27	36	27	41	54	12	18	27	36	18	27	41	54
400	24	36	48	36	54	72	16	24	36	48	24	36	54	72
500	30	45	60	45	68	90	20	30	45	60	30	45	68	90
600	36	54	72	54	81	108	24	36	54	72	36	54	81	108
700	42	63	84	63	95	126	28	42	63	84	42	63	95	126
800	48	72	96	72	108	144	32	48	72	96	48	72	108	144
900	54	81	108	81	122	162	36	54	81	108	54	81	122	162
1000	60	90	120	90	135	180	40	60	90	120	60	90	135	180
1100	66	99	132	99	149	198	44	66	99	132	66	99	149	198
1200	72	108	144	108	162	216	48	72	108	144	72	108	162	216
1500	90	135	180	135	203	270	60	90	135	180	90	135	203	270
1750	105	158	210	158	237	315	70	105	158	210	105	158	237	315
2000	120	180	240	180	270	360	80	120	180	240	120	180	270	360

Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007)