

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

LAURA GRANZOTTO

CONCRETO COM ADIÇÕES DE BORRACHA:
UMA ALTERNATIVA ECOLOGICAMENTE VIÁVEL

MARINGÁ
2010

LAURA GRANZOTTO

CONCRETO COM ADIÇÕES DE BORRACHA:
UMA ALTERNATIVA ECOLOGICAMENTE VIÁVEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Alves de Souza

MARINGÁ

2010

LAURA GRANZOTTO

CONCRETO COM ADIÇÕES DE BORRACHA:
UMA ALTERNATIVA ECOLOGICAMENTE VIÁVEL

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana no programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá.

Prof. Dr. Generoso de Angelis Neto,
Coordenador do Programa.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rafael Alves de Souza (Orientador) - UEM

Prof. Dr. Romel Dias Vanderlei – UEM

Prof. Dr. Assoc. João A. Rossignolo - EESC-USP

Dedico este trabalho

Aos meus Pais, Julio E. Granzotto e Dilma Dal Pasqual Granzotto, e a minha irmã Fernanda Granzotto, que fartam-me com o mais puro amor, e me ensinaram desde cedo, que a humildade absoluta é o instrumento perfeito para a busca do mais alto grau de sabedoria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos guias da minha vida, meu pai, minha mãe e minha irmã, pela proteção, incentivo, paz e apoio incondicional ao longo da minha vida. A minha conquista é também de vocês. Estaremos eternamente juntos!

A Deus, por ter me dado a capacidade e a oportunidade de escolher e trilhar meus caminhos.

Minha eterna gratidão ao meu orientador prof. Dr. Rafael Alves de Souza, obrigada pela orientação, paciência, amizade e apoio.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá e a todos os funcionários.

À minha Família, foram muitas as saudades, mas as boas lembranças foram sempre maiores.

Aos verdadeiros amigos que fiz nesse curto período do mestrado, pelo espírito de companheirismo, convivência, e força em todos os momentos para que eu realizasse mais este sonho, tudo e todos ficaram gravados em minha memória e meu coração.

E a equipe do laboratório de materiais (P02), cujas contribuições ajudaram a concretizar esse estudo.

“É duplamente vencedor quem, na vitória,
venceu a si mesmo.”
(Publilio Siro)

RESUMO

O processo de urbanização nas grandes cidades, a diminuição da quantidade e tamanho dos aterros, o crescimento populacional e a maior utilização de materiais descartáveis geram um expressivo aumento do número de resíduos gerados para o ambiente. Nas últimas décadas, tem-se observado o reaproveitamento de alguns tipos de resíduos, como por exemplo, aqueles produzidos pela construção civil. Porém, a mesma situação não ocorre para outros tipos de resíduos, como por exemplo, a borracha proveniente dos pneus de automóveis. Uma alternativa para o reaproveitamento de pneus inservíveis consiste na utilização do pó de borracha como material de substituição parcial do agregado miúdo em concretos. No presente trabalho, são apresentados resultados experimentais de concretos de baixa resistência com diferentes taxas de adição de pó de borracha. Finalmente, os resultados obtidos revelam que é possível se obter uma taxa ótima de adição sem que ocorram perdas significativas para a resistência à compressão e à tração do concreto com adições.

Palavras-chave: Resíduo. Borracha de Pneu. Concreto. Construção Civil.

ABSTRACT

The process of urbanization of great cities, the diminishing in the number of landfills, the increasing in the population growth rate and the major utilization of disposable materials have been generating an expressive volume of waste materials for the environment. Some waste materials have been reused in the last years, as for example, the residue generated by the civil construction. However, other kind of residue materials does not have been experiencing the same situation, as for example, the rubber from tires. One alternative for the reutilization of this residue material consist in use their powder in substitution of the fine aggregate in concrete. In the present paper, some experimental results concerning the mechanical properties of low strength concrete mixed with different rates of powder are presented. Finally, the experimental research reveals that is possible to obtain an ideal rate of powder incorporation without harm the strength of concrete.

Keywords: Residue. Rubber Tire. Concrete. Civil Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curvas médias de correlação entre resistências à compressão axial e a/c para Cimento Portland comum CP 32	28
Figura 2: Diagrama de Dosagem (Modelo de Comportamento)	30
Figura 3: Aspectos da superfície do concreto com teor de argamassa adequada	32
Figura 4: Slump Test	35
Figura 5: Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão	37
Figura 6: Ensaio de tração por compressão diametral	39
Figura 7: Corte de um pneu radial de automóvel (partes e materiais).....	42
Figura 8: Destinação dos pneus inservíveis.....	45
Figura 9: Gráfico da Resistência à compressão do concreto com borracha de pneu.....	54
Figura 10: Ciclo de separação e moagem da borracha de pneu.....	60
Figura 11: Resíduo da borracha de pneu	65
Figura 12: Processo de industrialização do resíduo	66
Figura 13: Agregado graúdo e miúdo.....	67
Figura 14: Ensaio de granulometria da borracha de pneu	69
Figura 15: Curva granulométrica agregado miúdo natural (areia)	69
Figura 16: Curva granulométrica agregado miúdo reciclável (borracha).....	70
Figura 17: Curva granulométrica agregado graúdo natural (brita).....	70
Figura 18 Ensaio da massa unitária solta da areia	72
Figura 19 Massa específica através do Chapman	73
Figura 20: Pesagem dos frascos de picnômetro	75
Figura 21: Ensaio da massa unitária do agregado graúdo	77
Figura 22: Preparo e aspecto do concreto.....	79
Figura 23: Ensaio de “slump-test”	80
Figura 24: Ensaio de massa específica aparente.....	80
Figura 25: Moldagem dos corpos-de-prova.....	81
Figura 26: Capeamento do corpo-de-prova	83
Figura 27: Ensaio de resistência à compressão C25 padrão – CP 2	84
Figura 28: Evolução da Resistência à Compressão dos CP’s Padrões	85
Figura 29: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral corpo-de-prova padrão	86
Figura 30: Evolução da Resistência à tração por compressão diametral dos CP’s Padrões	86
Figura 31: Ensaio de resistência à compressão CB 25 -5% – CP 2	89

Figura 32: Resistência à Compressão, C20 com substituição por borracha.....	90
Figura 33: Resistência à Compressão, C25 com substituição por borracha.....	90
Figura 34: Resistência à Tração por compressão diametral, C20 com substituição por borracha	91
Figura 35: Resistência à Tração por compressão diametral, C25 com substituição por borracha	92
Figura 36: Aspecto interno dos corpos de prova C20	92
Figura 37: Aspecto interno dos corpos de prova C25	93
Figura 38: Curva granulométrica dos agregado miúdos.....	95
Figura 39: Curva comparativa do consumo de água	96
Figura 40: Curva da massa dos concretos	97
Figura 41: Resistência à Compressão C20 com substituição de areia.....	99
Figura 42: Resistência à Compressão C25 com substituição de areia.....	100
Figura 43: Evolução da Resistência à tração C20 com substituição de areia.....	102
Figura 44: Evolução da Resistência à Tração C25 com substituição de areia	103
Figura 45: Fissuras devido à resistência aplicada no teste ao CB's	104

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Composição química média de um pneu	41
Tabela 2: Comparação dos materiais contidos em pneus	41
Tabela 3: Dados quanto à reciclagem de pneus.....	47
Tabela 4: Produção, Vendas e Segmentação de Pneus Novos no Brasil.....	48
Tabela 5: Coleta e destinação final de pneumáticos inservíveis nacionais	49
Tabela 6: Destinação dos pneus usados.....	51
Tabela 7: Programa experimental.....	63
Tabela 8: Composição do cimento	64
Tabela 9: Exigências físicas e mecânicas do cimento	64
Tabela 10: Exigências químicas do cimento	64
Tabela 11: Massa unitária do cimento	64
Tabela 12: Característica granulométricas	69
Tabela 13: Massa unitária no estado solto dos agregados	72
Tabela 14: Leitura dos frascos de Chapman.....	73
Tabela 15: Massa específica da areia	74
Tabela 16: Determinação do peso específico dos grãos	76
Tabela 17: massa específica da borracha.....	76
Tabela 18: Leitura das amostras de brita	77
Tabela 19: Massa unitária da brita.....	78
Tabela 20: Dosagens Padrão	82
Tabela 21: Massa específica dos traços pilotos	82
Tabela 22: Peso dos compósitos padrões	83
Tabela 23: Resistência à Compressão dos CP's sem adição de borracha	85
Tabela 24: Resistência à tração por compressão diametral dos CP's sem adição de borracha	86
Tabela 25: Dosagem dos CP's com substituição parcial.....	87
Tabela 26: Massa específica dos CP's com substituição parcial.....	88
Tabela 27: Peso dos CP's com substituição parcial	88
Tabela 28: Resistência à compressão CP's dos CB's.....	89
Tabela 29: Resistência à tração por compressão diametral CP's dos CB's.....	91
Tabela 30: Consumo de cimento	98
Tabela 31: Resistência à Compressão C20 com substituição.....	100

Tabela 32: Resistência à Compressão C25 com substituição.....	101
Tabela 33: Resistência à Compressão C20 com substituição.....	103
Tabela 34: Resistência à Compressão C25 com substituição.....	104
Tabela 35: Comparação das resistências mecânicas do CB (7 dias).....	105
Tabela 36: Comparação das resistências mecânicas do CB (28 dias).....	105
Tabela 37: Resistência à compressão dos CP's de CB's.....	119
Tabela 38: Ensaio granulométrico da areia	121
Tabela 39: Ensaio granulométrico da borracha de pneu.....	122
Tabela 40: Ensaio granulométrico da brita.....	123
Tabela 41: Peso dos CP's com substituição de areia por borracha	125
Tabela 42: Peso dos CP's com adição de borracha	125
Tabela 43: Estatística de confiabilidade das amostras de Resistência à Compressão de CB's	127
Tabela 44: Estatística de confiabilidade das amostras de Resistência à Tração de de CB's	128
Tabela 45: Resistência à Compressão dos CP's de CB's	130
Tabela 46 Resistência à tração dos CP's de CB	132

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
CAB	Concreto com adição de borracha
CB	Concreto com substituição parcial do agregado miúdo (areia) por borracha
CCl ₄	Tetracloroeto de Carbono
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
HNO ₃	Ácido nítrico
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MPa	Mega Pascal (1 MPa = 10,18 kgf/cm ²)
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
RMA	Associação dos Fabricantes de Borracha Norte Americana
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVO	19
2	APROVEITAMENTO DE MATERIAIS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	21
2.1	PANORAMA HISTÓRICO	21
2.2	APLICAÇÕES	23
3	PROPRIEDADES E DOSAGEM DO CONCRETO	27
3.1	MÉTODO DE DOSAGEM IPT/EPUSP.....	28
3.1.1	<i>Tratamento dos resíduos de pneus</i>	33
3.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	34
3.2.1	<i>Trabalhabilidade (Slump-test)</i>	35
3.2.2	<i>Massa unitária</i>	36
3.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	36
3.3.1	<i>Resistência à compressão</i>	36
3.3.1.1	<i>Resistência à compressão diametral (splitting test)</i>	38
4	RESÍDUOS DE PNEUS	40
4.1	BREVE HISTÓRICO DA BORRACHA EMPREGADA EM PNEUS	40
4.2	DEFINIÇÕES	40
4.2.1	<i>Resíduos sólidos</i>	40
4.2.2	<i>Pneus</i>	40
4.3	CONSTITUIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS PNEUS	41
4.4	PROBLEMAS CAUSADOS PELOS PNEUS INSERVÍVEIS	43
4.5	REUTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS	44
4.6	PRODUÇÃO E DESCARTE DE PNEUS NO BRASIL.....	46
5	RESÍDUOS DE PNEUS COMO FORMADORES DE CONCRETO.....	53
5.1	PROCESSO DE TRITURAÇÃO.....	59
6	MATERIAIS E MÉTODOS	61
6.1	PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS	61

6.2	CARACTERIZAÇÃO PRÉVIA DOS MATERIAIS	63
6.2.1	<i>Cimento.....</i>	63
6.2.2	<i>Resíduos de borracha de pneu (Pneu triturado)</i>	65
6.2.2.1	<i>Coleta e Beneficiamento da Amostra de Resíduos de Pneus</i>	65
6.2.3	<i>Agregados naturais.....</i>	67
6.2.4	<i>Água.....</i>	67
6.3	ENSAIOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	68
6.3.1	<i>Composição granulométrica</i>	68
6.3.2	<i>Ensaio de Massa Unitária.....</i>	71
6.3.3	<i>Ensaio de Massa Específica</i>	72
6.3.3.1	<i>Determinação da massa específica do agregado miúdo natural (areia).....</i>	73
6.3.3.2	<i>Determinação da massa específica da borracha de pneu</i>	74
6.3.3.3	<i>Determinação da massa unitária do agregado graúdo</i>	76
6.4	DOSAGEM, PRODUÇÃO E MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA	78
7	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	82
7.1	CONCRETO PADRÃO	82
7.1.1	<i>Massa específica aparente.....</i>	82
7.1.2	<i>Ensaio Concreto Endurecido</i>	83
7.1.2.1	<i>Resistência à compressão</i>	83
7.1.2.2	<i>Resistência à tração por compressão diametral</i>	85
7.2	CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA POR RESÍDUO DE PNEU	87
7.2.1	<i>Massa específica aparente.....</i>	88
7.2.2	<i>Ensaio Concreto Endurecido</i>	88
7.2.2.1	<i>Resistência à compressão</i>	88
7.2.2.2	<i>Resistência à tração por compressão diametral</i>	90
7.2.2.3	<i>Aspecto Visual das Amostras</i>	92
8	DISCUSSÕES	94
8.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	94
8.1.1	<i>Agregados naturais.....</i>	94
8.1.2	<i>Agregados reciclado (borracha de pneu).....</i>	94
8.2	RESULTADO DOS ENSAIOS	95
8.2.1	<i>Propriedades do concreto no estado fresco</i>	95
8.2.2	<i>Propriedades do concreto no estado endurecido</i>	99

8.2.2.1	Resistência à compressão	99
8.2.2.2	Resistência à tração por compressão diametral	102
8.2.2.3	Resistência à Compressão X Resistência à tração por compressão diametral	105
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
10	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109
11	REFERÊNCIAS.....	110
APÊNDICE A.	RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS	118
APÊNDICE B.	DETERMINAÇÃO DA GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS	120
APÊNDICE C.	PESO DOS CORPOS-DE-PROVA	124
APÊNDICE D.	COMPROVAÇÃO ESTATÍSTICA DA CONFIABILIDADE DAS AMOSTRAS	126
APÊNDICE E.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS-DE-PROVA.....	129
APÊNDICE F.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA.....	131

1 INTRODUÇÃO

O ser humano, durante a sua trajetória histórica, estabeleceu a ocupação e o uso da terra, utilizando os recursos naturais renováveis e não-renováveis, necessários a sua própria sobrevivência. Ao longo dos tempos, o ser humano passou a adotar um comportamento agressor com relação à natureza, propiciando a introdução do desequilíbrio ambiental. Dessa maneira, percebe-se uma série crescente de problemas ambientais, gerados por um modelo desordenado de desenvolvimento.

Na verdade, a história da humanidade atesta que a degradação ambiental já vinha ocorrendo há muito tempo. Porém, a degradação detectada não representava um grande impacto na natureza, provavelmente não se configurando como um problema ambiental, tal qual se entende atualmente. Esse comportamento da humanidade tem tomado dimensões e extensões cada vez maiores.

De acordo com Leite e Medina (2001), pode se considerar que os problemas ambientais só começaram a ser identificados como sendo resultado das seguintes condições:

- A revolução industrial, ocorrida a partir da metade do século XVIII, ocasionando uma grande mudança no processo de produção;
- A ocupação urbana desordenada e sem nenhum planejamento, sendo construída em áreas de preservação permanente e de risco, como encostas e margens de rios. Havendo desta forma uma deterioração ambiental dos ecossistemas, fazendo com que os mesmos se tornem cada vez mais frágeis e vulneráveis aos desastres naturais;
- O crescente acúmulo de lixo urbano e, industrial;
- A poluição do ar, do solo e da água;
- O assoreamento dos rios e lagoas;
- Os grandes desperdícios de matéria-prima em geral;

- A aceleração do processo de industrialização, com a maioria das tecnologias sendo poluidoras e de baixa eficiência energética.

Do ponto de vista de Leite e Medina (2001), para se buscar uma saída para a crise ambiental, é preciso começar um processo de reconstrução do pensamento, que nos leve a uma mudança de paradigmas, nomeadamente do econômico para o ambiental, que é mais humanizador. Nesse processo, temos que abandonar nossa conceituação histórica de separação entre o homem e o meio ambiente e buscar entender as relações sociedade-natureza que nele se processam. Esta preocupação, para com a preservação do meio ambiente e qualidade de vida estão registradas na Constituição Federal do Brasil, título VIII, capítulo VI, conforme excerto a seguir:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL,1988).

Em meio a todas essas questões surge uma alternativa para se amenizar os danos. A reciclagem e a reutilização de materiais surgem como alternativas para se reduzir diversos fatores nocivos ao meio ambiente.

O processo de reciclagem vem sendo estudado e pesquisado em diversas áreas visando evitar maiores danos ao meio ambiente e conseqüentemente ao ser humano. Há uma grande necessidade de se preservar os recursos naturais principalmente os não renováveis, criando alternativas para utilização de outros materiais em substituição ao insumo natural.

Desde os tempos antigos o homem depende dos recursos naturais para a sua sobrevivência. Mesmo com toda sofisticação e tecnologia existente na atualidade, continuamos extremamente dependentes do meio ambiente e isto, ao que tudo indica, nunca irá mudar.

Estas questões preocupam muito e o homem precisa procurar soluções para estes problemas. A construção civil, por exemplo, sempre questionada pelos danos à natureza devido principalmente aos seus entulhos, esta procurando de diversas formas deixar de ser um dos grandes problemas da humanidade.

Um das soluções encontradas pelo campo da construção é a utilização de agregados oriundos de processos de reciclagem. Estes materiais podem ser provenientes de processos de

demolição, ou até mesmo de rejeitos provenientes de outros produtos gerados pelo homem, tais como: pneus, plásticos, vidros, solas de sapato entre outros.

Esta atividade é muito atrativa devido ao reaproveitamento de restos de materiais e sobras, economizando assim recursos e reservas naturais. O lixo oriundo das diversas formas de utilização do ser humano gera um volume de entulho considerável, mas se este for devidamente coletado e separado pode ser reaproveitado para outros fins.

Paralelamente ao aumento da industrialização, houve também um incremento na geração de resíduos e subprodutos, tornando importante a regularização da destinação destes materiais. O custo de deposição e manutenção dos depósitos de lixo tem aumentado, tanto pelo volume gerado, quanto pelas novas exigências de cunho ambiental. Dessa maneira é necessária a criação de técnicas capazes de reutilizar e reciclar diversos materiais.

1.1 OBJETIVO

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem por objetivo a investigação do desempenho da utilização do resíduo de borracha de pneu na composição do concreto. Procurando investigar com base em resultados experimentais, as propriedades mecânicas do concreto formado com borracha de pneu. Contribuindo desta forma com indicações de estratégias para a solução do problema de descarte do pneu após sua vida útil.

Visando com isso, demonstrar principalmente, porcentagens consideráveis da substituição da areia por borracha de pneu moída em uma determinada dosagem, que não altere significativamente as propriedades mecânicas do concreto simples. Possibilitando aplicações em calçadas, meio-fio, e demais usos onde não requer a aplicação de concreto estrutural.

O presente trabalho foi organizado em sete capítulos, de maneira a facilitar a abordagem dos aspectos teóricos e prático desse material.

No primeiro e no segundo capítulo são apresentados o aproveitamento de materiais reciclados na construção civil, com uma breve abordagem histórica e atual sobre a utilização dos materiais reciclados na construção, apresentando aplicabilidades do mesmo estudada por diferentes autores.

O terceiro capítulo aborda os estudos relacionados ao concreto desde suas dosagens a diversas propriedades apresentadas por diferentes autores.

O quarto capítulo apresenta uma abordagem sobre o enfoque principal, o resíduo de pneu. Neste tópico apresenta-se a matéria prima principal deste estudo, ressaltando suas características, composições, forma de produção e descarte.

No quinto capítulo são apresentados, levantamentos literários base deste estudo. Os quais enfocam a obtenção e processamento da matéria prima,

No sexto capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Do sétimo ao nono capítulos trata-se do fechamento da pesquisa, é onde esta presente a metodologia experimental onde são apresentados os materiais constituintes do processo de estudo e os ensaios realizados visando à obtenção de uma dosagem ideal da mistura do concreto com o material reciclado, neste caso o pneu.

E por fim o décimo capítulo aborda sugestões para a realização de estudos futuros.

2 APROVEITAMENTO DE MATERIAIS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A industrialização, a implantação de grandes projetos de infra-estrutura e a exploração de recursos minerais e agropecuários para fins de exportação fazem parte das estratégias que têm produzido impactos negativos no ambiente. Isso tudo, aliado ao acelerado processo de urbanização que ocorreu nas grandes cidades, causou uma série de degradações ao ambiente urbano.

No combate aos problemas supracitados, a reciclagem é uma das propostas que mais ganham estímulo. Hoje, no mercado, já existem vários produtos que são produzidos com materiais reciclados, tais como: papel, embalagens de alumínio, subprodutos do aço entre outros.

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

É possível constatar dentro da construção civil algumas formas de reciclagens de resíduos industriais que se consolidaram como materiais para diversas aplicações. Dentre estes materiais, se encontram os resíduos de construção e demolição, resíduos da indústria de mármore e granito, resíduos de casca de arroz oriundos da seleção e classificação do mesmo, a borracha proveniente da recauchutagem de pneus ou de seus descartes, entre outros. Vários centros de pesquisa têm estudado a utilização de resíduos em argamassas e concretos, e os resultados são animadores.

2.1 PANORAMA HISTÓRICO

No Brasil, assim como nos demais países, levou-se muito tempo para que o ser humano tomasse conta dos malefícios que ocasionava ao ambiente. A política ambiental brasileira propriamente dita se desenvolveu de forma tardia, e seu desenvolvendo basicamente ocorreu em resposta às exigências dos movimentos internacionais ambientalistas.

Durante séculos, o desenvolvimento econômico decorrente da Revolução Industrial impediu que os problemas ambientais fossem considerados. O meio ambiente era predominantemente visto como um acessório ao desenvolvimento. A poluição e os impactos ambientais do

desenvolvimento desordenado eram visíveis, mas os benefícios proporcionados pelo progresso os justificavam como um “mal necessário”.

De acordo com Leite e Medina (2001), foi no ano de 1973 que no Brasil a questão ambiental passou a ser tratada com uma estrutura independente, seguindo a recomendação da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente. Foi neste ano criada a Secretaria Especial do Meio Ambiente – SEMA (Decreto nº 73.030), vinculada ao Ministério do Interior.

Diferentes pesquisas visando à preservação ambiental e a reutilização de materiais descartados pelo homem tem propiciado mudanças no cenário mundial. Além disso, diversas leis têm sido criadas e aos poucos colocadas em prática.

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

De acordo com CEMBUREAU (1995 apud LEVY e HELENE, 2002), foi no ano de 1928 que começaram a serem desenvolvidas pesquisas relacionadas à produção de concreto com agregados reciclados.

De acordo com Wedler e Hummerl (1946 apud LEVY e HELENE, 2002), o surgimento significativo de obras utilizando-se essas técnicas deu-se posteriormente a 2ª Guerra Mundial, na reconstrução das cidades européias. Visando dar uma solução final aos entulhos e ruínas gerados, e atendendo a demanda por agregados na época, o homem começou a desenvolver técnicas de produção de concreto com agregados reciclados. Desta forma, pode-se relatar que o surgimento de tecnologias relacionadas ao concreto com agregados reciclados teve seu início no ano de 1946, mas infelizmente, até os dias atuais não se tornou uma tecnologia amplamente difundida. No entanto, de acordo com Levy e Helene (2002), países como Estados Unidos, Japão, Bélgica, França e Alemanha têm utilizado técnicas em maior escala. Este fato pode ser explicado pelas condições geológicas e mineralógicas adversas impostas pela natureza nesses países, além dos mesmos serem nações tecnologicamente bem desenvolvidas.

2.2 APLICAÇÕES

Diferentes resíduos vêm sendo estudados como agregados para o concreto, tais como: resíduos da construção civil, escória granulada de alto forno, cinza volante, sílica ativa, poliestireno, garrafa pet triturada, chifre de boi, fibra de vidro e borracha de pneu.

Os diferentes resíduos estudados atualmente para a incorporação na construção civil passam por diferentes processos de reciclagem devido a suas diferentes propriedades. Estudos já realizados apontam que o concreto com agregados reciclados podem ser aplicados de diferentes formas, desde concretos de baixa resistência a concretos de alta resistência, além de argamassas.

A cinza volante como adição mineral em concretos de cimento Portland possui ainda um grande potencial de expansão. Sua utilização pode acarretar vários benefícios ao concreto, como o aumento da durabilidade, a redução da fissuração térmica, o aumento da resistência, aumento da plasticidade, redução do peso específico, entre outros. Material este que pode ser aplicado na confecção de blocos estruturais, pré-moldados, blocos de pavimentação, argamassas industrializadas, entre outros usos.

Outros resíduos já estudados apresentam ganho em diferentes aplicações, as mais comumente citadas são: preparo de argamassa, confecção de peças pré-moldadas, blocos intertravados, entre outros.

O uso da borracha de pneu como agregado no concreto, vem sendo amplamente estudado, apresentando diferentes características.

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

De acordo com RMA (2009), as aplicações mais comuns da borracha de pneu na Engenharia Civil incluem: material de enchimento de peso leve; drenagem em campo séptico; aterro em estradas; suporte de base de estrada; sistema de drenagem de gases em aterros sanitários; material para com postagem; estabilizadores de encostas; controle de erosão, diques, barragens; isolante térmico e acústico; drenagem em aterro sanitário; aditivos para pavimentos asfálticos e pistas esportivas; cobertura de parques infantis, concretos leves, etc.

Toutanji (1996); Eldin e Senouci (1993) relatam experiências sobre a utilização de borracha de pneu reciclado, como agregado no concreto nos Estados Unidos. Os pneus são passados por um moinho onde a borracha é triturada e transformada em agregado com granulometria adequada.

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

Siddique e Naik (2004) sugerem várias utilizações para o concreto com adição de resíduos de borracha de pneu. Dentre elas encontram-se: locais onde é necessário o amortecimento de vibrações, locais onde resistência ao impacto é necessária, fachadas, entre outros.

De acordo com Kamimura (2002) um produto denominado por Rubber Soil, patenteado por uma empresa de Hong Kong, desenvolvido em bloco pré-moldado de peso leve, é confeccionado de borracha de pneu triturado e cimento, com alta capacidade de drenagem. Pode ser utilizado em diversas aplicações tais como: em áreas de aterro em estradas, acessos a pontes, abaixo e acima do nível d'água, diques, paredes de retenção, etc.

Segundo Benson (1995, apud KAMIMURA, 2002), a utilização dos pneus triturados em vez dos materiais de construção utilizados convencionalmente, apresenta diversos benefícios: densidade reduzida, melhor propriedades de drenagem e, melhor isolamento térmica e acústica.

Segundo Zhu (2001 apud KAMIMURA, 2002), foi executada uma calçada no campus de uma universidade do Arizona adicionando uma pequena quantidade de borracha de pneu moída ao concreto de cimento. O estudo demonstrou que a adição de borracha moída ao concreto de fato produziram vários benefícios que compensariam pela perda da resistência à compressão, especialmente em projetos que não se destinam as cargas pesadas. Esses benefícios incluem reduções em expansões térmicas, assim como encolhimento durante a secagem e fragilidade.

O Brasil assim como os demais países também contribui com suas pesquisas nesta área.

De acordo com Bauer *et al.* (2001) os traços para argamassas de regularização e contra-piso, analisadas pelos autores, apresentaram a menor resistência, no entanto não comprometem o uso das argamassas na construção civil. Para o concreto, os autores indicam seu uso no envelopamento de dutos enterrados em valas.

Fioriti *et al.* (2002) através de suas análises constataram a viabilidade da utilização da borracha de pneu para a confecção de blocos de alvenaria estrutural e de vedação. Os

resultados obtidos a partir dos ensaios atendem às especificações das normas brasileiras, oferecendo um material mais leve, permitindo facilitar a execução.

Segundo Albuquerque *et al.* (2006) o concreto com adição de borracha de pneu pode ser um material ideal quando submetido a efeitos de impacto e, que não necessita de alta resistência mecânica.

Outro relato de Kamimura (2002) cita que alguns municípios americanos, como em Dakota do Sul, visando resolver o déficit habitacional apresentado, estão utilizando resíduos de borracha provenientes do processo de recauchutagem de pneus, em substituição a areia, na confecção de placas pré-moldadas de concreto. Essas placas por sua vez são fixadas em pilares de concreto, também pré-moldados. Trata-se de uma técnica segundo o autor, simples e de baixo custo.

Bennazouk *et al.* (2003, apud MARQUES, 2005), verificaram o comportamento do concreto com borracha em presença de água. Nesta análise foram verificadas as propriedades hidráulicas, onde foram determinadas que a presença de partículas de borracha reduz a difusividade hidráulica através da diminuição da absorção de água. Da mesma forma, a permeabilidade ao ar foi reduzida consideravelmente. Estes resultados demonstram a importância do uso da borracha para a durabilidade do concreto em ambientes agressivos.

Ainda de acordo com Marques (2005), o uso do concreto com borracha na construção civil, através dos resultados obtidos, indica que o uso do material obtido como função estrutural é inviável, embora seja possível a confecção de concretos com resistência de 15MPa e 20MPa. Entretanto segundo o autor, seu uso em materiais pré-moldados como blocos de alvenaria também é interessante.

De modo geral as composições adicionadas de borracha de pneu são indicadas para uso em elementos que exijam baixa resistência mecânica, menor peso e absorção de água, bom isolamento térmico e acústico além de resistência ao impacto.

O uso em blocos de pavimentação apresenta-se uma forma viável para o aproveitamento deste material, visto através da literatura, que a resistência à compressão não é sua principal propriedade. Além disso, os resultados referentes à resistência à abrasão são também pontos favoráveis para esta utilização.

Dessa forma, a substituição de parte do agregado por borracha de pneu pode contribuir para a preservação dos agregados naturais e oferecer um modo alternativo de reciclagem para a borracha de pneu.

A proposta de agregar borracha ao concreto surge também com o intuito de contribuir com o desenvolvimento de algumas das propriedades favoráveis e importantes para a construção civil, como a baixa massa unitária, alta resistência, ductilidade e resistência ao impacto. Para isso, fez-se uma análise da bibliografia a respeito do CAB. Assim, se pode ter uma idéia das suas propriedades mecânicas, sua forma de dosagem e suas perspectivas de aplicação, como será visto a seguir.

3 PROPRIEDADES E DOSAGEM DO CONCRETO

Por muitos anos pesquisadores têm testado e desenvolvido diversas aplicações para pneus inservíveis. A borracha de pneu descartado vem sendo pesquisada e utilizada em materiais de engenharia com sucesso.

A utilização de resíduos de pneus, como material de construção é uma maneira de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando eventualmente reduções de preço que gera benefícios a todos.

Segundo Helene e Terzian (2001) a dosagem trata-se de um processo abrangente e que exige amplo conhecimento das propriedades dos concretos. As condições fresca ou endurecida concreto devem ser as mesmas.

De acordo com os mesmos autores, a dosagem do concreto pode ser entendida como sendo a harmonia adequada entre os materiais constituintes (agregados), atendendo a cinco principais condições:

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

A dosagem não é nada mais é que as indicações das proporções e quantificação dos materiais componentes da mistura, a fim de obter um concreto com determinadas características previamente estabelecidas.

Para obtenção de um bom concreto de acordo com sua finalidade, devem ser efetuadas com perfeição as operações básicas de produção do material. Já as propriedades funcionais do concreto endurecido de acordo com Helene e Terzian (2001), tais como resistência, durabilidade e aparência, só podem ser asseguradas se a trabalhabilidade do concreto fresco, for compatível com as condições de trabalho.

Outro ponto de destaque no preparo do concreto é o cuidado que se deve ter com a qualidade e a quantidade da água utilizada, pois ela é a responsável por ativar a reação química que

transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se sua quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e se for superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso evaporar. A relação entre o peso da água e do cimento utilizados na dosagem é chamada de fator água/cimento (a/c).

3.1 MÉTODO DE DOSAGEM IPT/EPUSP

Helene e Terzian (2001) apresentam um método de dosagem simples, desenvolvidos para o preparo de concretos convencionais a partir de quaisquer materiais disponíveis regionalmente.

De acordo com Petrocci (1979) o método IPT, possibilita traçar em um gráfico as curvas para cada tipo de agregado, facilitando a determinação do traço.

Faz em parte dos conceitos fundamentais da dosagem, de acordo com Helene e Terzian (2001), a relação água/cimento – sendo este o parâmetro mais importante, a definição dos materiais que serão empregados no processo de dosagem do concreto como pode ser observado na Figura 1 – definindo desta forma a resistência e durabilidade do concreto, a correlação assumidas como “Leis de comportamento”, o diagrama de dosagem, as “Leis complementares” e por fim, o custo do concreto/ m^3 dos materiais.

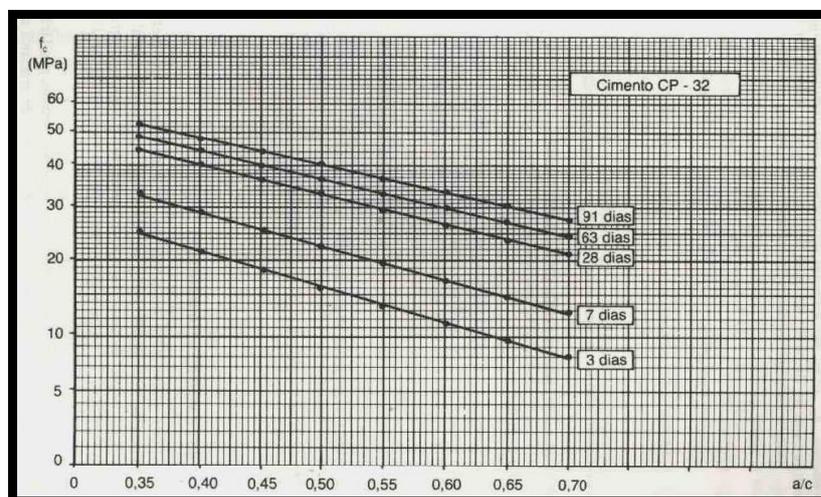


Figura 1: Curvas médias de correlação entre resistências à compressão axial e a/c para Cimento Portland comum CP 32

Fonte: Helene e Terzian (2001).

O diagrama de dosagem segundo os autores Helene e Terzian (2001) é baseado em leis e correlações, obtidas ao longo dos anos por diferentes pesquisadores (Abrams, Lyse, Molinari e outros), descritas a seguir pelas equações.

As leis de Comportamento que segundo Helene e Terzian (2001) são:

$$\text{“Lei de Abrams”} \Rightarrow f_{cj} = \frac{K}{(K_2 * a/c)} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{“Lei de Lyse”} \Rightarrow m = k_3 + k_4 * a/c \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{“Lei de Molinari”} \Rightarrow C = \frac{100}{(k_5 + k_6 * a/c)} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{“Teor de Argamassa seca”} \Rightarrow \alpha = \frac{(1+a)}{(1+m)} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$m = a + p \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

f_{cj} = resistência à compressão axial, à idade j , em MPa;

a/c = relação água / cimento em massa, em kg/kg;

a = relação agregado miúdo seco / cimento em massa, em kg/kg;

p = relação agregado graúdo seco / cimento em massa, em kg/kg;

m = relação agregados secos / cimento em massa, em kg/kg;

α = teor de argamassa seca, deve ser constante para uma determinada situação, em kg/kg;

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ = constantes que dependem exclusivamente dos materiais (cimentos, agregados, aditivos);

Leis Complementares de acordo com Helene e Terzian (2001) são:

$$\text{“consumo de cimento/m}^3\text{”} \Rightarrow C = \frac{\gamma}{(1+a+p+a/c)} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\text{“consumo de cimento/m}^3\text{”} \Rightarrow C = \frac{(1000-ar)}{\left(\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c\right)} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\text{“consumo de água/m}^3\text{”} \Rightarrow A = C * a/c \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

C = consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado, em kg/m³;

γ = massa específica do concreto, medida no canteiro em kg/m³;

γ_c = massa específica do cimento, em kg/dm^3 ;

γ_a = massa específica do agregado miúdo, em kg/dm^3 ;

γ_p = massa específica do agregado graúdo, em kg/dm^3 ;

ar = teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico, em dm^3/m^3 ;

A = consumo de água potável por metro cúbico de concreto adensado, em kg/m^3 ;

Após a obtenção destas características iniciais, de acordo com Helene e Terzian (2001) é necessário fazer um estudo experimental, onde são necessários pelo menos três pontos para o desenho do modelo de comportamento de acordo com a Figura 2, onde se relacionam, para uma determinada trabalhabilidade, resistência à compressão, relação a/c, proporção dos agregados e consumo de cimento.

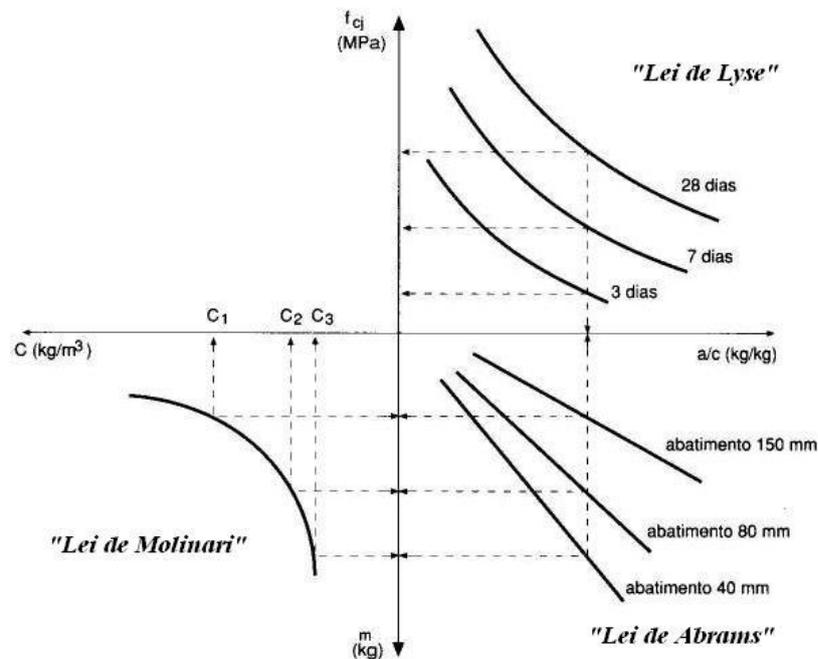


Figura 2: Diagrama de Dosagem (Modelo de Comportamento)

Fonte: Helene e Terzian (2001).

Helene e Terzian (2001) classificam esta variação de traço como sendo intermediária, pobre e rico, que são, respectivamente, o 1:5, o 1:6,5 e o 1:3,5, para os concretos convencionais compreendidos em uma faixa de resistência à compressão aproximada de 20 a 50 MPa. O primeiro traço a ser rodado é o 1:5 (cimento: soma total de agregados secos, em massa) de onde se tiram informações importantes para os traços subsequentes.

De acordo com Helene e Terzian (2001), uma das etapas mais importantes do método IPT é a determinação do teor de argamassa seca, pois esta define as características básicas de um concreto. Se o teor de argamassa estiver elevado, aumenta o custo do material por metro cúbico, assim como a probabilidade da ocorrência de futuras manifestações patológicas como, por exemplo, a fissuração por dessecação superficial e/ou por elevado calor de hidratação do cimento. Por outro lado, se houver quantidade de argamassa insuficiente, a trabalhabilidade do concreto será prejudicada, afetando o acabamento final e provocando porosidade e falhas na concretagem. Por tanto, deve-se sempre buscar o teor de argamassa ideal, para que não ocorram problemas em nenhuma parte.

O método de acordo com Helene e Terzian (2001) descreve algumas etapas que devem ser seguidas para que ocorra o menor número possível de variações entre diferentes centros de pesquisas ou canteiro de obras:

- A imprimação do misturador com uma porção de concreto de volume inferior a 6 kg com traço 1:2:3 e $a/c = 0,65$. Deixar o material sair livremente;
- A colocação dos materiais, sendo primeiro 80% da quantidade de água total, posteriormente agregado graúdo, agregado miúdo, cimento, restante da água e, se for o caso, aditivos;
- A colocação da primeira quantidade de material e verificação do aspecto. Se não estiver com o teor ideal, acrescentar cimento e areia de acordo com a coluna de acréscimos, deixando a quantidade de agregado graúdo constante. Cada porção de material deve ser misturada por 5 minutos;
- A realização de testes práticos para a confirmação do teor final de argamassa conforme Figura 3;
- A correção do teor final devido a perdas inerentes ao processo, como transporte e lançamento. As perdas são estimadas entre 2% e 4%;

- A realizar uma nova mistura de traço 1:5 para a determinação de todas as características finais do concreto fresco: relação água/cimento, consumo por metro cúbico dos componentes, massa específica do concreto fresco e abatimento do tronco de cone.



Figura 3: Aspectos da superfície do concreto com teor de argamassa adequada
Fonte: Helene e Terzian (2001).

Após a obtenção de todos os parâmetros necessários os autores Helene e Terzian (2001) sugerem a utilização de traços intermediários, a faixa do abatimento do tronco de cone e o teor de argamassa devem procurar ser mantidos constantes e o cálculo dos traços é semelhante ao feito anteriormente.

A conclusão do processo segundo Helene e Terzian (2001) é feita com o rompimento dos corpos-de-prova e o desenho do diagrama de dosagem. Citam ainda que nesta fase pode-se calcular qualquer traço intermediário àquela família, desde que sejam utilizados sempre os mesmos materiais do estudo prévio.

É importante ainda salientar que a proporção de materiais de um determinado concreto feito em laboratório é sempre uma tentativa de se chegar mais perto possível da realidade, porém sempre será necessário que se façam correções e ajustes posteriores, para a obtenção do traço final.

3.1.1 Tratamento dos resíduos de pneus

Em algumas bibliografias existentes são encontrados alguns resultados sobre tratamentos superficiais aplicados à borracha com o objetivo de melhorar a aderência e aumentar a resistência à flexão.

Tentativas de tratamento da superfície do resíduo de borracha para sua melhora na aderência com a pasta de cimento foram feitas por Eldin e Senouci (1993), Rostami *et al.* (1993), Smith *et al.* (1995), Li *et al.* (1998) e Segre e Joekes (2000).

Eldin e Senouci (1993) optaram pela lavagem da borracha com água na tentativa de remover alguns contaminantes.

O tratamento realizado pelos autores Rostami *et al.* (1993), constituía na lavagem com água, solução de CCl_4 (tetracloreto de carbono) e uma mistura de limpador látex. Os resultados das pesquisas mostraram que a borracha, provenientes do processo de trituração, apresentou grande quantidade de impurezas e a simples lavagem com água teve uma pequena melhora, apresentando uma resistência à compressão de 16% em relação ao resíduo não tratado. Já o tratamento com a solução CCl_4 apresentou melhor resultado, aumentando a resistência em 57% com relação à borracha não tratada.

Smith *et al.* (1995) em estudo sobre aplicações comerciais para pneus usados sugerem um tratamento superficial das partículas de pneu com gás cloro; nenhum procedimento experimental foi relatado no trabalho.

Li *et al.* (1998) fizeram uma tentativa pré-revestindo a borracha com Methocel (solução polimérica derivada da celulose) e com pasta de cimento. Entretanto, os autores não obtiveram resultados satisfatórios já que os concretos com borracha tratada apresentaram comportamento igual e até inferior ao concreto com borracha sem tratamento.

Segre (1999) realizou ensaios com CAB tratados com dois diferentes compostos químicos. Utilizando mistura de borracha de pneu moída e pasta de cimento, que segunda a autora, resultam em num composto resistente à abrasão e à flexão, propriedades consideradas importantes do ponto de vista mecânico. A autora de forma a resolver a aderência da superfície da matriz de cimento e a borracha, tratou a borracha para melhorar suas propriedades na adição à pasta de cimento.

Segre (1999) usou dois reagentes simples e muito usados na química, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e hidróxido de sódio (NaOH). Após diversos ensaios com o intuito de testar as

propriedades como a resistência à flexão, e averiguar a densidade, comprovou que a mistura de cimento e borracha tratada com NaOH apresentou melhores desempenhos do que a mistura tratada com H₂SO₄.

Segre e Joekes (2000) utilizaram tratamento com solução saturada de hidróxido de sódio para a lavagem da borracha de pneu. Os autores aplicaram ao material ensaio do tipo: resistência à compressão, absorção de água, resistência à flexão, módulo de elasticidade e resistência á abrasão.

Embora os autores Segre e Joekes (2000) tenham observados em seus ensaios a perda na resistência à compressão nas misturas contendo borracha, eles observaram que esta foi menor que a obtida para borracha sem tratamento, mostrando desta forma sua eficiência. A abrasão dos corpos-de-prova contendo borracha tratada foi equivalente ao sem resíduo e superior em relação aos corpos-de-prova com borracha sem tratamento.

Segre e Joekes (2000) para melhorar a adesão entre a pasta de cimento e as partículas de borracha sugeriram em uma nova pesquisa, o tratamento superficial das partículas de borracha com soluções de NaOH (hidróxido de sódio), concluíram através de seus ensaios que este tratamento superficial da borracha de pneu proporcionou um aumento significativo a aderência entre as partículas e a matriz de cimento.

Albuquerque *et al.* (2006) estudaram três tipos diferentes de tratamento superficial na borracha adicionada ao concreto os seguintes elementos: aditivo vinílico, aditivo acrílico e aditivo de estireno-butadieno. Os tratamentos foram eficientes, principalmente, considerando o ganho com a resistência à tração.

Analisando os estudos apresentados relacionados ao tratamento superficial na borracha, pode-se verificar a falta de um consenso nos estudos como aponta Freitas (2007), não se obtendo o tratamento adequado para o resíduo de borracha e também um resultado satisfatório.

3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Os ensaios práticos são executados com a finalidade de exemplificar e tornar claro o método de dosagem utilizado. Avaliando por exemplo a trabalhabilidade, resistência à compressão, massa específica e a resistência à tração do compósito de concreto.

3.2.1 Trabalhabilidade (Slump-test)

A verificação a trabalhabilidade do concreto se dá durante o processo de produção do mesmo, obtendo-se valores de consistência da massa de concreto.

Também conhecido como ensaio do Slump-test, é um dos principais parâmetros de moldagem para a dosagem segundo o método do IPT/EPUSP. Através dele ajusta-se a quantidade de água a ser adicionada ao concreto para obtenção de uma trabalhabilidade constante para todos os concretos. O ensaio deve ser realizado conforme procedimento da NBR 7223/92.

O processo consiste nas seguintes etapas:

- O concreto é colocado, em 3 camadas individuais compactadas com 25 golpes de uma haste de ponta arredondada, em um tronco de cone com 30cm de altura;
- Após o preenchimento das 3 camadas, o excesso concreto é nivelado com a base do tronco do cone (cone de Adams);
- Retirar lentamente o tronco do cone sem esforços laterais;
- Colocar o tronco de cone, em posição invertida ao lado do concreto e mede-se com uma régua o abatimento do concreto

O procedimento conforme ilustra a Figura 4, deve durar no máximo 3 minutos.

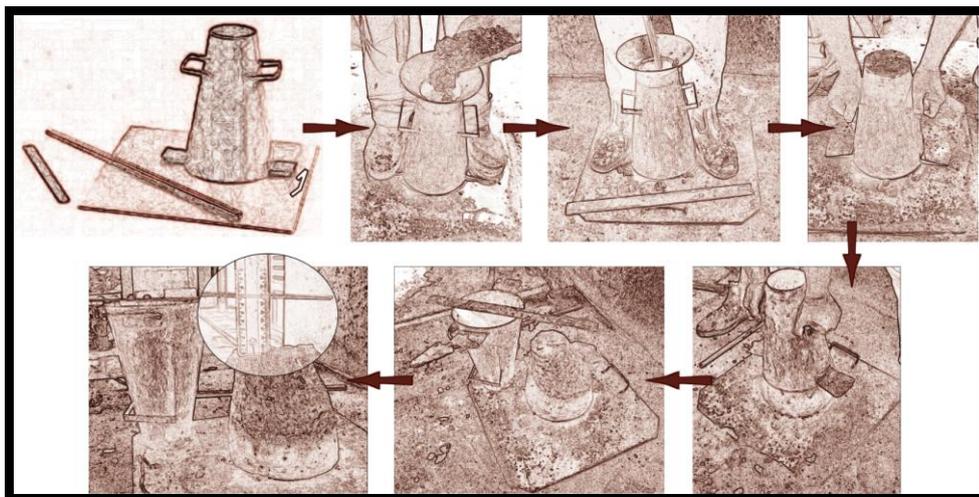


Figura 4: Slump Test

3.2.2 Massa unitária

Outro ensaio realizado com o concreto em estado fresco é a chamada massa unitária, ou seja, a razão entre a massa (m) de uma quantidade de concreto e o volume (V) correspondente.

$$\mu = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq. 9})$$

Usualmente a massa unitária é apresentada em g/cm^3 , mas de acordo com o Sistema Internacional (SI) a unidade é o kg/m^3 . A relação entre elas é a seguinte:

$$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{10^{-3} \text{kg}}{10^{-6} \text{m}^3} = 10^3 \text{kg/m}^3 \quad (\text{Eq. 10})$$

A determinação da massa específica do concreto no estado fresco é efetuada de acordo com a ABNT NBR 9833/1987 – “Concreto fresco – Determinação da massa unitária e do teor de ar pelo método gravimétrico”.

3.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

3.3.1 Resistência à compressão

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

Segundo Pinheiro *et al.* (2004), após ensaio de um número muito grande de corpos-de-prova, pode ser feito um gráfico com os valores obtidos de f_c versus a quantidade de corpos-de-prova relativos a determinado valor de f_c , também denominada densidade de frequência. A curva encontrada denomina-se Curva Estatística de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para a resistência do concreto à compressão conforme Figura 5.

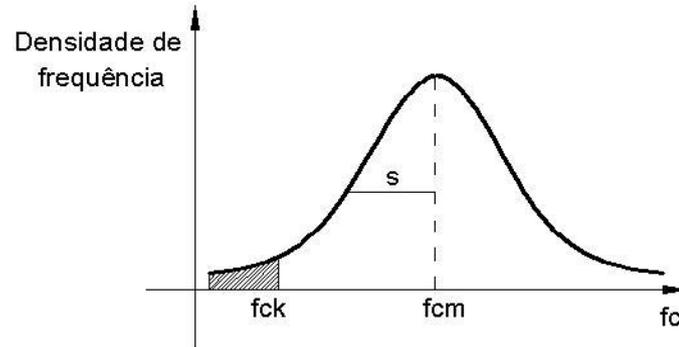


Figura 5: Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão

Fonte: Pinheiro *et al.* (2004).

De acordo com Pinheiro *et al.* (2004), na curva de Gauss encontram-se dois valores de fundamental importância: resistência média do concreto à compressão, f_{cm} , e resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} .

O valor f_{cm} é a média aritmética dos valores de f_c para o conjunto de corpos-de-prova ensaiados, e é utilizado na determinação da resistência característica, f_{ck} , por meio da fórmula:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

s = desvio padrão, e corresponde à distância entre a abscissa de f_{cm} e a do ponto de inflexão da curva (ponto em que ela muda de concavidade).

1,65 = correspondem a 5%, ou seja, apenas 5% dos corpos-de-prova possuem $f_c < f_{ck}$, ou, ainda, 95% dos corpos-de-prova possuem $f_c \geq f_{ck}$.

Portanto, pode-se definir f_{ck} como sendo o valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado, em ensaios de corpos-de-prova de um determinado lote de concreto.

A NBR 8953 define as classes de resistência em função de f_{ck} . Concreto classe C30, por exemplo, corresponde a um concreto com $f_{ck} = 30\text{MPa}$.

De acordo com Helene e Terzian (2001), a resistência à compressão é a propriedade do concreto geralmente adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura. E esta é a propriedade do concreto que melhor o qualifica.

Segundo Helene e Terzian (2001), os fatores que influem na resistência à compressão do concreto são: variabilidade do cimento, dos agregados, da água, dos aditivos e da proporção

relativa desses materiais; qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura; eficiência das operações de ensaio e controle.

Santos (2005), dentre os estudos já realizado de concreto com adição de borracha, a preocupação prioritária de acordo com o autor na grande maioria é com a resistência à compressão. De maneira geral, observa-se que a introdução de borracha ao concreto provoca diminuição da resistência à compressão.

De acordo com Santos (2005) a resistência à compressão é considerada índice de qualidade, pois esta relacionada com outras propriedades: modulo de elasticidade, durabilidade, absorção de água, etc.

Topçu (1994) declara que a resistência à compressão para concretos com adição de borracha, depende da granulometria da borracha adicionada. Para CAB com uso de borracha com granulometria fina a resistência à compressão diminui em torno de 50%, e para borracha com granulometria grossa 60%.

Para Topçu e Avcular (1997), as razões para esta diminuição estão atribuídas à redução da quantidade de materiais sólidos com capacidade de suportar carregamento e também a concentração de tensões na pasta ao redor dos agregados de borracha, desta forma é importante ressaltar que o uso mais adequado para a composição do CAB, é o uso de borracha fina.

O índice de resistência à compressão é determinado de acordo com ABNT NBR 5739/2003 pela equação:

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

f_c = resistência em MPa;

F = força máxima alcançada em newtons;

D = diâmetro do corpo de prova.

3.3.1.1 Resistência à compressão diametral (splitting test)

Normalizado pela NBR 7222/94, este ensaio determina a resistência à tração do concreto. Este ensaio é também conhecido internacionalmente como “Ensaio Brasileiro”. Foi desenvolvido por Lobo Carneiro, em 1943. Para a sua realização, o corpo-de-prova cilíndrico é colocado

com o eixo horizontal entre os pratos da prensa, sendo aplicada uma força até a sua ruptura por tração indireta (ruptura por fendilhamento), conforme expresso na Figura 6.

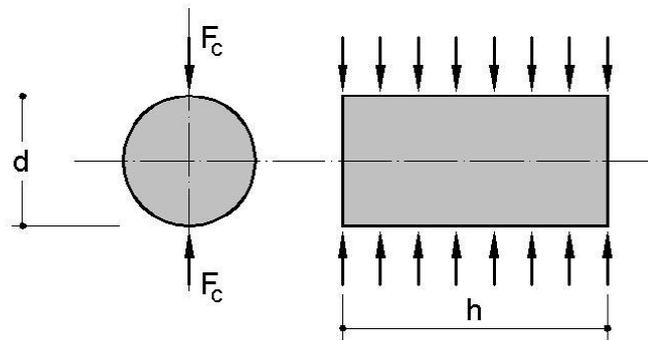


Figura 6: Ensaio de tração por compressão diametral

Fonte: Pinheiro *et al.* (2004)

De acordo com Pinheiro *et al.* (2004) o valor da resistência à tração por compressão diametral, encontrado neste ensaio, é um pouco maior que o obtido em um ensaio de tração direta. O ensaio de compressão diametral é simples de ser executado e fornece resultados mais uniformes do que os da tração direta.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral é aplicada uma tensão de compressão na geratriz do cilindro, a qual é colocado apoiado em duas tabuas de madeira (em contato com os pratos da prensa).

A resistência à tração por compressão diametral, com aproximação de 0,05 MPa deve ser calculada pela Equação 13.

$$\sigma_T = \frac{2 * F}{\pi * d * h} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

σ_T = Tensão de tração na ruptura;

F = Carga de ruptura (kN);

d = Diâmetro do corpo de prova (mm)

h = Comprimento do corpo-de-prova (mm)

4 RESÍDUOS DE PNEUS

4.1 BREVE HISTÓRICO DA BORRACHA EMPREGADA EM PNEUS

De acordo com Specht (2004) foi no século XIX, que o norte americano Charles Goodyear, descobriu o processo de vulcanização, misturando acidentalmente borracha e enxofre. Anos mais tarde, na Alemanha começou o processo de industrialização da borracha sintética a partir do petróleo. Segundo pesquisadores foi com o escocês John Dunlop em 1888, que a borracha foi usada para revestir rodas de bicicleta.

4.2 DEFINIÇÕES

4.2.1 Resíduos sólidos

São resíduos com origem industrial que resultam de atividades de uma “comunidade”, onde se inclui a borracha de pneu, lixo doméstico, lixo hospitalar, lixo comercial, entre outros. Devendo estar distintos em 3 classes: Classe I (resíduos perigosos); Classe II (resíduos não inertes) e Classe III (resíduos inertes).

4.2.2 Pneus

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

- Pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem de veículos;
- Pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum – TEC;
- Pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim

específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importações, no código 4012.10 da TEC;

- Pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

4.3 CONSTITUIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS PNEUS

De acordo com Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP (2009) a composição química da borracha de pneu é basicamente a estabelecida na Tabela 1 e Tabela 2:

Tabela 1: Composição química média de um pneu

ELEMENTO/ COMPOSTO	%
Carbono	70,0
Hidrogênio	7,0
Óxido de Zinco	1,2
Enxofre	1,3
Ferro	15,0
Outros	5,5

Fonte: Carvalho (2007).

Tabela 2: Comparação dos materiais contidos em pneus

MATERIAL	% AUTOMÓVEL	% CAMINHÃO
Borracha/Elastômeros	48	45
Negro de fumo	22	22
Aço	15	25
Tecido de nylon	5	-
Óxido de Zinco	1	2
Enxofre	1	1
Aditivos	8	5

Fonte: ANIP (2009).

Segundo Kamimura (2002), os pneus para veículos de passeio são constituídos de diferentes partes, como são ilustrados na Figura 7.

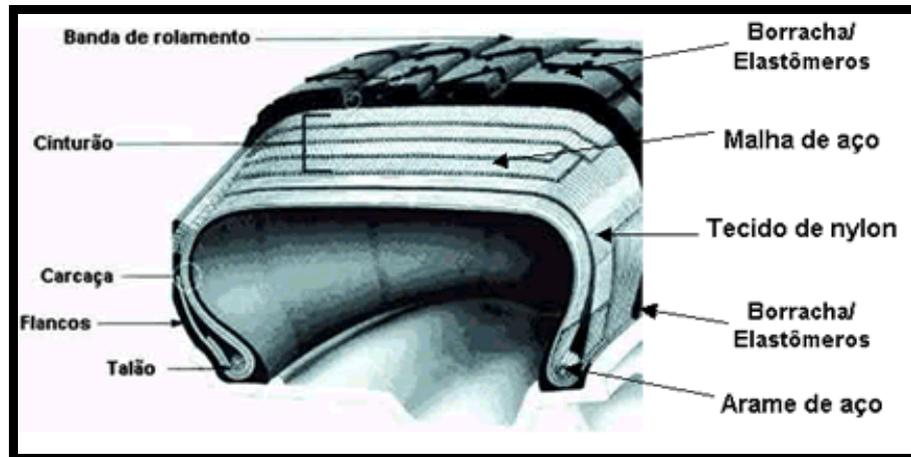


Figura 7: Corte de um pneu radial de automóvel (partes e materiais)

Fonte: Carvalho (2007).

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

desenhos, criteriosamente estudados, visam proporcionar aderência, estabilidade e segurança ao veículo.

A banda de rodagem, por estar em contato direto com o solo, sofre desgaste mais rapidamente que as demais partes do pneu. Devido a este fato é permitido a sua recomposição, mantendo-se as outras partes para sua reutilização. Este procedimento é chamado de recauchutagem ou recapeamento.

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

4.4 PROBLEMAS CAUSADOS PELOS PNEUS INSERVÍVEIS

Os pneus são constituídos por estruturas difíceis de serem eliminadas naturalmente. Na grande maioria das vezes este material é abandonado em locais impróprios, causando conseqüentemente danos à saúde e principalmente ao meio ambiente. Este material tem um longo período de degradação, aproximadamente de 400 a 800 anos, tornando-se assim um grande problema para o meio ambiente.

O pneu, de acordo com Carvalho (2007), é um exemplo da riqueza no lixo urbano. Facilmente encontrado em aterros sanitários, lixões, estoques a céu aberto, beiras de estradas e rios. Além de representar um desperdício, pode acarretar graves problemas.

De acordo com a ABNT NBR 10004 (2004), a deposição de materiais quando inservíveis seguem uma classificação apresentadas em normas, e se diferencia por material. No caso dos pneus vigora a ABNT/NBR 10004, que classifica o pneu como resíduo de classe III (resíduos inertes).

Ainda de acordo com ABNT NBR 10004 (2004), a colocação dos pneus inservíveis em aterros sanitários não é recomendável, já que além do processo de degradação ser lento, é um material combustível. Este material quando em processo de combustão, acaba por liberar óleos tóxicos que podem contaminar o solo e lençóis freáticos. Durante a combustão é liberado, também, dióxido de enxofre, altamente nocivo à saúde humana.

Quando abandonados em locais inadequados, os pneus inservíveis servem como local para procriação de mosquitos e outros vetores de doenças, além da possibilidade de acabarem por obstruírem os canais de rios. Outra problemática encontrada está ligada à disposição dos

pneus inservíveis em aterros sanitários, pois os pneus quando compactados e enterrados voltam à superfície após um determinado tempo, devido ao processo de degradação que ocorre com os demais materiais ser mais curto que o dos pneus.

Segundo dados publicados pelo Ministério da Saúde (2009), cerca de 20% dos casos registrados no país de doenças transmissíveis, são causados por mosquitos que nascem em águas acumuladas em pneus velhos. Este problema pode ocasionar diversas doenças como: febre amarela e dengue.

O problema dos pneus inservíveis também está relacionado aos aspectos visual, pois seu acúmulo em locais impróprios propicia uma poluição visual. Em conjunto este material ocupa grandes espaços e são difíceis de compactação.

4.5 REUTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS

A disposição inadequada dos pneus usados traz sérias conseqüências para o meio ambiente e para a saúde humana. Diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de identificar formas viáveis de reutilização dos pneus inservíveis. O uso da borracha de pneu moída na construção civil vem sendo estudada há alguns anos a fim de verificar sua viabilidade em aplicações.

A borracha proveniente deste material ou o próprio material, possuem atrativos para sua utilização como subproduto como pode ser observado na

Figura 8, já que a “carcaça” se constitui de um resíduo de fácil transporte e seu manuseio não oferece grandes riscos a quem o manipula. Possui alta resistência ao intemperismo e ao envelhecimento, é um material homogêneo de baixo custo e de dimensões geométricas padronizadas.

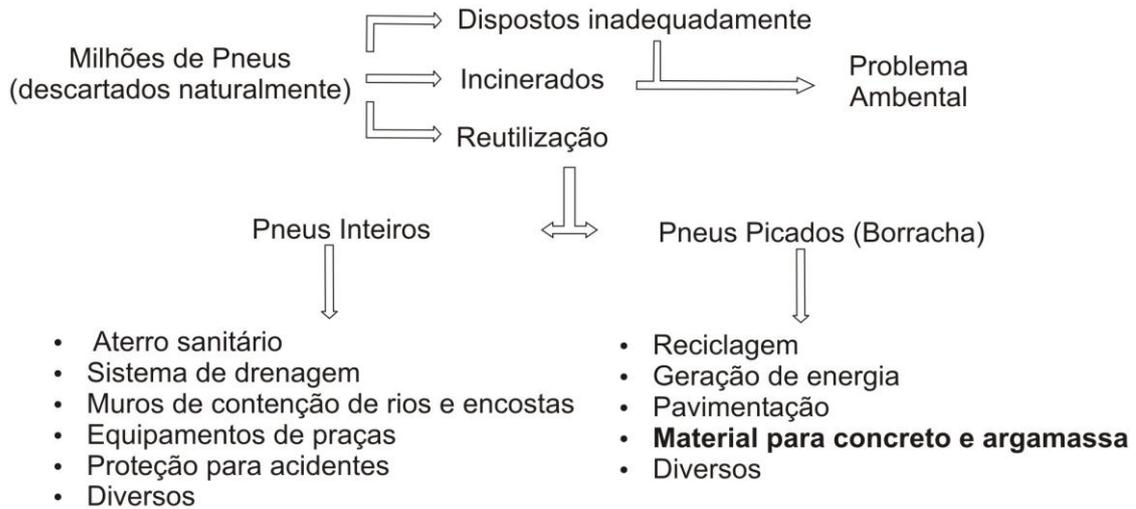


Figura 8: Destinação dos pneus inservíveis

O resíduo da recauchutagem nos dias de hoje vem sendo experimentado em alguns centros de pesquisas do país e do mundo, como fibra para a composição do concreto por exemplo. Aproveitando assim a forma fibrilar das fibras curtas proveniente da recauchutagem.

Segundo Santos (2005) o objetivo de se adicionar estas fibras provenientes do recapeamento, ao concreto seria de provocar uma costura entre as infinitas seções que compõe o sólido; combatendo, principalmente, as fissuras provocadas pela retração. Sob tensões aplicadas, essas fissuras têm como comportamento, se propagar rapidamente, sendo desta forma responsável pela ruptura do material.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) a introdução de fibras ao concreto, não melhora significativamente a resistência à tração do mesmo, mas melhora o seu comportamento no estágio pós-fissuração. Com isso, 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 é claro do tipo de fibra; percebe-se, de forma geral, que as fibras incorporadas ao concreto tornam-no menos frágil.

A possibilidade de incorporação de resíduos de pneus em misturas à base de cimento é uma contribuição da indústria da construção civil para reciclagem de resíduos prejudiciais ao meio ambiente, podendo também melhorar o desempenho dos materiais com sua adição. Isso é verdade quando são analisadas as propriedades elásticas da borracha, sua resistência ao impacto e sua baixa massa específica, características estas muitas vezes desejadas em concretos, podem ser melhoradas através da inserção do resíduo de borracha em sua composição.

4.6 PRODUÇÃO E DESCARTE DE PNEUS NO BRASIL

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

Em 26 de agosto de 1999, foi aprovado a Resolução 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Essa resolução diz que é de inteira responsabilidade do produtor e do importador, o ciclo total da mercadoria, sendo assim são obrigados por lei, a coletarem e darem destino final de forma ambientalmente correta para os produtos que são colocados por eles no mercado. O IBAMA é responsável por fiscalizar e até punir os infratores quando necessário tendo como base a Lei de Crimes Ambientais. De acordo com a lei, de cada quatro pneus fabricados no Brasil ou importados, os responsáveis devem reciclar ou reutilizar um novo pneu. Para isso em 2003 foi aprovada pelo CONAMA outra resolução, a 301, que reforça e esclarece a resolução anterior (CONAMA 258, 1999).

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

Um recente estudo realizado pela ANIP (2009) revela que, dos 22 milhões de pneus trocados anualmente no Brasil, 53,2% são inservíveis, ou seja, não podem mais rodar em veículos automotivos e apenas 46,8% podem ser reformados mediante avaliação.

O descarte de pneus velhos chega a atingir, anualmente, a marca de quase 800 milhões de unidades. Só no Brasil são produzidos cerca de 40 milhões de pneus por ano e quase metade dessa produção é descartada nesse período (AMBIENTE BRASIL, 2001).

O Brasil possui uma grande quantidade de pneus acumulados, devido à existência de programas voltados à correta destinação desses produtos. Os pneus estão sendo aos poucos coletados e reciclados contribuindo assim para a redução do número de pneus abandonados em todo o país conforme ilustra a Tabela 3.

Tabela 3: Dados quanto à reciclagem de pneus

DADOS	2004	2005	2006
Recursos investidos para reciclagem de pneus inservíveis (R\$ milhões)	20	22	30
Volume destinado para reciclagem (mil toneladas)	145	127	123
Número de pneus de passeio reciclados (milhões)	29	25,4	24
Volume de pneus produzidos (milhões)	52	Cerca de 53,4	54,5
Número de municípios com ecopontos (contrato de remoção de pneus inservíveis).	98	13	220

Fonte: ANIP (2009).

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

De acordo com Kamimura (2002), desde 1998 a indústria nacional de pneus vem apresentando crescimento na sua produção. Em 1998, foram produzidos praticamente 38 milhões de pneus, sendo que este número em 2001 alcançou aproximadamente 49 milhões de unidades. Destes 49 milhões, 62% destinaram-se as categorias pneus carro de passeio, 11,5% pneus para caminhões e ônibus, 9,5% para comerciais leves, e os demais para veículos industriais e agrícolas, tratores, motonetas e motocicletas.

De acordo com Goldenstein *et al.* (2007), esta evolução vem se mantendo e tanto a produção quanto as vendas vêm crescendo ao longo dos últimos anos. “Em 2005 foram produzidos

cerca de 53 milhões de pneus, com volume de vendas internas de cerca de 38 milhões de unidades, incluídas importações diretas, e exportações da ordem de 18 milhões unidades”

Dos pneus novos produzidos no Brasil, as vendas para o segmento de reposição apresentaram o maior desempenho em todo o período apresentado. Em segundo lugar vieram às vendas para exportação e, por último, as vendas para montadoras conforme Tabela 4.

Tabela 4: Produção, Vendas e Segmentação de Pneus Novos no Brasil

ANO	VOLUME DE PRODUÇÃO (MILHÕES DE UNIDADES)	VOLUME DE VENDA (MILHÕES DE UNIDADES)	VENDAS PARA REPOSIÇÃO (MILHÕES DE UNIDADES)	VENDAS PARA MONTADORAS (MILHÕES DE UNIDADES)	EXPORTAÇÕES (MILHÕES DE UNIDADES)
2003	49,2	51,8	22,6	11,5	17,7
2004	52,0	55,2	24,6	13,8	17,2
2005	53,4	56,6	23,9	14,5	18,2
2006	54,5	57,3	23,4	15,1	18,7

Fonte: ANIP (2009).

Hoje no país vem ganhando mercado os pneus importados da China e também pneus remoldados importados de diversos países. Este fator de importar pneus remoldados vem gerando discussões ambientais intensas, pois estes pneus já vêm de outros países com um tempo de vida útil bastante reduzido, após isso eles inevitavelmente virarão inservíveis. A argumentação contra esta importação incide sobre o fato de que ao acatar esta medida se contribuiria para o aumento do lixo que seria depositado no Brasil.

Devido à problemática que tem sido para qualquer país a disposição final de resíduos sólidos, no caso em estudo os pneus inservíveis, as leis e normas que regulamentem atividades ligadas a este segmento auxiliam no processo de controle e gerenciamento de pneumáticos inservíveis.

Em razão do grande problema e cuidado que está situação requer, no Brasil, a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei n. 6.938/81, em seu art. 8º, delega competência ao Conselho Nacional do Meio Ambiente como órgão legislador brasileiro para este assunto, sendo este responsável também pela edição de atos jurídicos e normativos, com força de lei; decidir recursos administrativos em última instância; exigir estudos/documentos que complementem deferimento de licenças ambientais na realização do Estudo de Impacto Ambiental – EIA;

além disso, atribuir competência ao IBAMA para licenciamento, fiscalização e controle ambiental (CIMINO; ZANTA, 2005).

Sendo de responsabilidade do CONAMA a edição de normas, a respeito da questão dos pneumáticos inservíveis, em 26 de agosto de 1999 foi publicada a RESOLUÇÃO CONAMA 258/99 que trata deste assunto, sendo complementada pela RESOLUÇÃO CONAMA 301/02, tratando da destinação final deste resíduo sólido, as duas resoluções foram regulamentadas pela Instrução Normativa nº 8/02 do IBAMA.

A instrução normativa nº08/02 do IBAMA institui os procedimentos que devem ser adotados pelos responsáveis para o cumprimento da Resolução CONAMA 258/99, trata de questões quanto ao cadastramento, processadores, destinadores e destinação final ambientalmente correta; e, determina as respectivas equivalências em peso de pneus para bicicletas e veículos automotores (BRASIL, 2002).

De acordo com CONAMA (1999), a Resolução 258/99 trata da responsabilidade das empresas fabricantes e importadoras de pneumáticos sobre a coleta e destinação final adequada dos pneus inservíveis existentes no território nacional. Esta norma foi elaborada pelo CONAMA com a intenção de diminuir o passivo ambiental criado pelos depósitos clandestinos e formas inadequadas de destinação final dos pneus descartados.

Conforme Cimino e Zanta (2005) “face aos impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado de pneus, há que se buscar o seu gerenciamento ambientalmente adequado, desde o acondicionamento até a destinação final”, além disso, devem-se buscar alternativas que visem o uso de novas tecnologias de reutilização na sua forma inteira, e de reciclagem das partes que compõem o pneu inservível.

De acordo com CONAMA (2002), foi a partir da vigência da Resolução 258/99 em janeiro de 2002, que o órgão federal impôs às empresas adoção de novas medidas no tratamento final do pneu inservível no tocante a coleta e destinação, dando as mesmas, tempo para cumprirem de forma gradual as novas determinações que têm força de lei. Sendo assim, estipulou metas a partir do ano de 2002, que foram revistas pelo IBAMA no ano de 2005 conforme ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5: Coleta e destinação final de pneumáticos inservíveis nacionais

PRAZO INICIAL	PNEUS NOVOS			PNEUS INSERVÍVEIS
	NACIONAIS		IMPORTADOS	
Janeiro/2002	4 unidades	ou	4 unidades*	1 unidades
Janeiro/2003	2 unidades	ou	2 unidades*	1 unidades
Janeiro/2004	1 unidades	ou	1 unidades	1 unidades
Janeiro/2005	4 unidades	ou	4 unidades	5 unidades

* Quantidades válidas para pneus novos ou reformados

Fonte: CONAMA (1999).

O que se percebe com as metas estipuladas acima, que somente com a entrada em vigor das resoluções do CONAMA é que diversas ações foram sendo tomadas a respeito de uma solução quanto ao problema do descarte final do pneu inservível. Nota-se também a grande responsabilidade que o governo passou a cobrar das empresas nesta questão ambiental.

Com estas medidas, o governo brasileiro não apenas delegou obrigações aos fabricantes e importadores, mas também criou instrumentos para acompanhamento pelo IBAMA das práticas adotadas pelas empresas no que tange esta questão.

Brechas na Resolução 258/99 possibilitam o ingresso de pneus importados, tanto novos reformados ou usados. Mas, com a publicação posterior da Resolução 301/02, onde apresentou alterações nos dispositivos da resolução anterior, reafirmando a obrigatoriedade da destinação final adequada de pneus novos ou reformado importados.

Entre as demais questões abordadas na Resolução 258/99, o CONAMA (1999) afirma que tanto as empresas importadoras (de novos ou remoldados), como as fabricantes (pneus novos), deverão prestar contas ao IBAMA quanto à destinação final dos pneus inservíveis, pois conforme seu artigo 9º fica terminantemente proibido o descarte desse resíduo sólido nos aterros sanitários; no mar; em terrenos baldios ou alagadiços; margens de vias públicas; em cursos d' água e em praias; ou ainda a queima a céu aberto.

Para evitar os tipos de problemas previstos acima, a Resolução 258/99, prevê que as empresas deverão criar pontos de coleta, locais para processamento dos pneus inservíveis, e formas adequadas de armazenagem, tudo de acordo com a legislação ambiental vigente no país.

A partir destas novas diretrizes em relação à questão da gestão dos resíduos pneumáticos inservíveis, ações institucionais foram adotadas pela entidade representativa desta indústria a ANIP (representante de 14 empresas do setor), desenvolvendo ações estratégicas no que se refere à questão da coleta e tratamento dos pneus inservíveis.

De acordo com a ANIP (2009), a associação obteve a marca expressiva de 200 milhões de pneus reciclados em dez anos. O montante é suficiente para equipar duas vezes a frota brasileira. O descarte foi feito por meio da criação de 374 postos de coleta espalhados pelo País. O programa é realizado em parceria com as prefeituras.

Segundo dados da Coordenadoria Estadual de Resíduos Sólidos- CRES (2009), para se ter uma noção do que está sendo utilizado, só o estado do Paraná gera 2 mil toneladas de pneus usados mensalmente.

De acordo com a SEMA (2009) nove indústrias fabricantes de pneus atuam no Paraná e atualmente uma prestadora de serviços, responsável pelo recolhimento de pneus usados, com isso das 2 mil toneladas produzidas no estado do Paraná apenas 700 toneladas são destinadas de maneira correta.

Em todo o mundo, os pneus inservíveis são reaproveitados em diversas atividades comerciais e industriais. No Brasil, as formas de destinação são regulamentadas pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), que determina quais processos são ambientalmente corretos.

De acordo com Carvalho (2007) ainda nos dias de hoje, não se consegue reciclar os pneus inservíveis para a produção de novo pneus, pois a borracha perde suas propriedades e não consegue ter as propriedades mecânicas necessárias para a fabricação de um pneu novo.

Uma das formas mais comuns de reaproveitamento dos pneus inservíveis no Brasil é como combustível alternativo para as indústrias de cimento. Outros usos dos pneus são na fabricação de solados de sapatos, borrachas de vedação, dutos pluviais, pisos para quadras poli-esportivas, pisos industriais, além de tapetes para automóveis conforme expresso na Tabela 6. Mais recentemente, surgiram estudos para utilização dos pneus inservíveis como componentes para a fabricação de manta asfáltica e asfalto-borracha, processo que tem sido acompanhado e aprovado pela indústria de pneumáticos.

Tabela 6: Destinação dos pneus usados

USO	QUANTIDADE (%)
-----	----------------

Serve de combustível para alto-forno de cimenteiras	80 %
São usados na produção de borracha em pó e asfalto	15 %
Viram solas de sapato e dutos fluviais	5 %

Fonte: ANIP (2009).

A quantidade de resíduos sólidos provenientes da indústria de borracha e do descarte de pneumáticos tem incentivado vários estudos acerca da reutilização e reciclagem deste material. Várias tentativas de reciclagem têm sido testadas: confecção de tapetes e artefatos de borracha, estabilização de encostas, controle de erosão com mantas de pneus, utilização como combustível etc. Entretanto, com o grande volume de material produzido, principalmente em países onde o transporte rodoviário é predominantemente, os pesquisadores têm vislumbrado como alternativa atrativa à utilização de pneu moído incorporado em pavimentos betuminosos por exemplo.

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

5 RESÍDUOS DE PNEUS COMO FORMADORES DE CONCRETO

Diversas pesquisas foram e estão sendo realizadas por diferentes pesquisadores, para dar uso aos pneus inservíveis em materiais à base de cimento. No concreto, as pesquisas foram iniciadas recentemente, sendo a primeira pesquisa que se tem conhecimento realizado em 1993 por Eldin e Senouci. Após estes estudos, diferentes outras pesquisas surgiram visando um uso para os pneumáticos inservíveis. Nesta pesquisa inicial o resultado obtido foi que o uso de resíduo proporcionou ao concreto uma queda em suas propriedades.

Eldin e Senouci (1993) utilizaram borracha de pneu como agregado em concreto substituindo assim o agregado miúdo por borracha com diâmetro de 1mm, e o agregado graúdo por borracha com diâmetro de 38, 25, 19 e 6mm. Com estas substituições os autores observaram uma diminuição da trabalhabilidade após a incorporação da borracha, houve também uma queda na resistência à compressão e na resistência à tração. Vale ressaltar que resultados observados têm uma variação grande em relação ao tamanho de partícula de pneu utilizada. De acordo com os autores a perda das propriedades mecânicas está atribuída à falta de aderência entre a superfície da borracha e a matriz de cimento.

Em outra pesquisa referente ao tema, Eldin e Senouci (1993) verificaram o aumento de volume dos materiais, porém, isso foi possível quando utilizaram partículas com diâmetro de 2mm como agregado. Em 120 dias, foi observado um aumento de volume menor se comparado com o concreto comum; além de uma alta tenacidade e boa trabalhabilidade.

Resumidamente pode-se constatar que o concreto com adição de borracha de pneu moído como agregado, nas pesquisas realizadas por Eldin e Senouci (1993), apresentou perdas na resistência mecânica variando de 25% a 85%. Os autores também notaram que as perdas de resistência são menores quando são realizadas nas substituições dos agregados miúdos.

Além dos estudos com a utilização da borracha em partículas foram iniciados no mesmo ano, estudos quanto à utilização deste mesmo material em forma de pó. Lee *et al.* (1993), observaram que a resistência à tração do material em que se utilizou 5% de pó de borracha diminuiu 18% e decresceu com o aumento da percentagem de borracha de pneus.

Lee *et al.* (1993) avaliaram a resistência à tração de pasta de cimento com borracha de pneu nas proporções de 5 e 15%, tamanhos de partículas com diâmetro de 0,8mm e 0,4mm, sem tratamento superficial e tratada com HNO₃ (Ácido nítrico) diluído. Observou-se que a resistência à tração do material onde se utilizou 5% de borracha sem tratamento diminuiu

18% e decresceu com o aumento da porcentagem de borracha de pneu utilizada. A inclusão de 5% de borracha tratada ocasionou uma diminuição de 44% na resistência à tração e não se alterou como aumento da quantidade de borracha utilizada. O tamanho de partícula não afetou significativamente o desempenho do material. Diminuição na densidade também foi observada em todos os casos.

Outros precursores desse tema, Ali *et al.* (1993) constataram que ao adicionar partículas de borracha de pneu sem tratamento e com diâmetros variando entre 0,6 e 1,2mm, teve-se uma diminuição na resistência à flexão de 3,5 MPa (concreto sem borracha) para 2,5 MPa, além da resistência à compressão que caiu de 45 MPa para 28 MPa.

Rostami *et al.* (1993) estudaram por sua vez a resistência à compressão de concretos com substituição de 0 a 100% de agregado graúdo por borracha de pneu. Estes autores constataram que a falta de resistência à compressão apresentada no produto final estava ligada as impurezas incrustadas na borracha. Devido a isso, foi apresentado um tratamento superficial do resíduo feito pelos autores, visando aumentar o incremento de aderência da borracha com a matriz de cimento.

De acordo com os autores, utilizando-se 10% de borracha, o concreto com borracha tratada com CCl_4 (Tetracloroeto de Carbono) apresentou uma diminuição de 10% na resistência à compressão em relação ao concreto convencional. Utilizando-se 10% de borracha tratada com água, essa diminuição foi de 27% e sem tratamento foi de 46%, conforme apresentado na Figura 9.

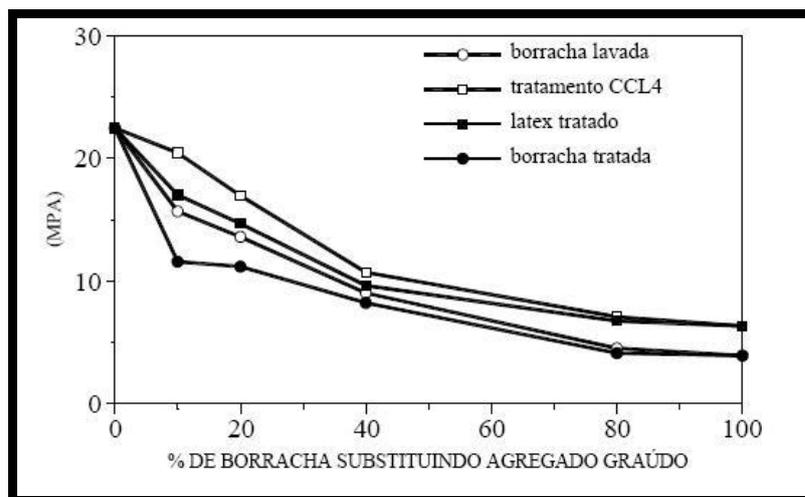


Figura 9: Gráfico da Resistência à compressão do concreto com borracha de pneu
Fonte: Rostami *et al.* (2009).

Topçu (1995) utilizou partículas grandes de borracha e os resultados obtidos não foram satisfatórios no que se refere às propriedades mecânicas. Em relação à capacidade de absorver energia, a adição de borracha ao concreto diminuiu a capacidade de absorver energia elástica e aumentou a capacidade de absorver energia plástica, o que permite que o material sofra alta deformação antes de sua ruptura. Ele ainda verificou que o uso de borracha com granulometria maior afeta as propriedades mecânicas mais negativamente do que quando se usa uma granulometria menor.

Topçu (1997) estudou a substituição dos agregados do concreto por partículas de borracha; e constatou um aumento no índice de fragilidade para adição de 15% de borracha e uma tendência de diminuição para incorporação de borracha nas proporções de 30 e 45%. A diminuição do índice de fragilidade significa uma maior deformação do concreto antes da ruptura.

Este estudo foi também investigado posteriormente por Toutanji (1996), que por sua vez pesquisou o efeito causado ao concreto quando da substituição de agregados minerais graúdos por lascas de borracha de pneu. O autor substituiu os agregados minerais nas proporções de 25, 50, 75 e 100%. Nesta pesquisa ele observou que a perda na resistência à compressão é o dobro da perda da resistência à flexão e que o concreto passou a apresentar ruptura dúctil e não mais frágil, passando a ter grande deformação antes da fratura.

Huynh e Raghavan (1997) fizeram estudos em dois tipos de granulométricas: menores que 4,75mm e menores que 2,36mm. Os resíduos foram expostos as várias soluções químicas procurando avaliar a durabilidade de borrachas submetidas a meios altamente alcalinos, constatou-se que as alterações provocadas nas dimensões do resíduo e do pH não foram significativas e não houve perda na resistência mecânica da borracha. Embora o meio alcalino não provoque alterações consideráveis na borracha, sua adição provoca alterações no comportamento de concreto, argamassa e pasta de cimento. Essas alterações podem ser influenciadas pela forma, tamanho e quantidade de resíduo substituído.

Raghavan e Huynh (1998) inovaram os estudos incorporando resíduos de borracha em argamassa resistente, com cimento e areia, pesquisa essa seguida anos mais tarde por outros autores.

Em sua pesquisa, Raghavan e Huynh (1998) demonstraram, através de microscopia eletrônica em corpos-de-prova de argamassa rompidos por flexão, que a ruptura ocorreu na interface entre a borracha e a pasta de cimento, devido à fraca aderência entre estes materiais. Apesar

desta fraca aderência, a borracha incorporada à argamassa foi capaz de evitar a propagação de pequenas fissuras o que permite que o CAB (Concreto com Adição de Borracha) seja capaz de continuar absorvendo carregamento após a ruptura.

Raghavan *et al.* (1998) durante suas avaliações com relação às propriedades mecânicas de argamassa a base de cimento e borracha de pneu, utilizaram partículas de borracha com 2mm de diâmetro, sem nenhum tratamento e nas proporções 5, 10 e 15 % observou-se que a adição da borracha resultou numa diminuição da resistência à flexão, isso diretamente influenciada pela quantidade de borracha adicionada. Nos ensaios de fratura, os autores constaram que as partículas de borracha foram arrancadas da matriz de cimento, indicando adesão pobre.

Li *et al.* (1998) também avaliaram as propriedades de concreto com partículas de borracha de pneus incorporadas. Os autores utilizaram borracha sem tratamento, recoberta com polímero solúvel derivado de celulose e recoberta com pasta de cimento. Partículas essas com diâmetro máximo de 2,5mm e na proporção de 10%. Com isso obtiveram uma redução de 10% na densidade, bem como na resistência à compressão e à flexão. As amostras com borracha recoberta com pasta de cimento apresentaram os melhores desempenhos.

A influência da forma do resíduo e de como o ensaio é feito, foi investigada por Khatib e Bayomy (1999, apud FREITAS, 2007). Em seus estudos, os autores realizaram ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump test), de acordo com NBR 7223, e observaram que a mistura contendo borracha apresenta pior abatimento. Também foi observado que quanto maior a quantidade de borracha adicionada, menor é o abatimento, sendo que para 40% de substituição tem-se um abatimento próximo a zero.

Segre (1999) estudou a resistência à abrasão de pastas de cimento com adição de borracha. De acordo com sua pesquisa as pastas de cimento com adição de borracha tiveram menor resistência à abrasão do que a pasta de cimento convencional. A baixa resistência à abrasão pode inviabilizar o uso do concreto como material de reparo em obras hidráulicas porque este tipo de estrutura está sujeita a permanente ação de abrasão.

De acordo com Accetti e Pinheiro (2000, apud FREITAS, 2007), estudaram a adição de fibras de borracha ao concreto. Segundo os autores as fibras atuam como barreiras ao desenvolvimento das fissuras. Durante o endurecimento da pasta as fibras de borracha interceptam as microfissuras e impedem sua progressão, evitando assim um surgimento prematuro.

Akasaki *et al.* (2001, apud FREITAS, 2007) em seu estudo sugeriu que, para não haver perda significativa na resistência do concreto, a incorporação de fibras de borracha deve ser feita em substituição ao agregado miúdo da mistura do concreto.

A granulometria das partículas de borracha influencia as propriedades mecânicas do CAB. Nirschl *et al.* (2002) estudou a incorporação ao concreto de fibras de borracha em diferentes granulometrias. Com isso concluiu que as fibras de 0,8 a 2,38 mm proporcionaram propriedades mecânicas com valores superiores ao concreto contendo fibras com tamanho inferior as fibras estudadas por ele.

Turatsinze (2005) estudou a fragilidade e a sensibilidade a fissuras que o concreto apresenta devido à retração. Procurando resolver esta questão, o autor comparou o desempenho das fibras de borracha com o desempenho de fibras de reforço usuais que visam impedir a propagação das fissuras. Ele concluiu que a borracha não é tão eficiente quanto às fibras de aço, mas pode ser utilizada de maneira satisfatória quando é necessário um material de alta resistência ao surgimento de fissuras.

Güneyisi *et al.* (2004) trabalharam com adições de borracha juntamente com sílica ativa. Estes autores puderam verificar em seus estudos uma queda acentuada nas propriedades mecânicas do concreto, devido unicamente a adição destes materiais na composição do concreto.

Objetivando verificar a variação do índice de consistência (IC) no concreto com adição de fibras de borracha, Martins e Akasaki (2005) dosaram concretos com diferentes proporções, mantiveram constantes a dosagem de aditivo e a relação água-cimento. Seus resultados mostraram que conforme se aumenta a quantidade de fibras o índice de consistência diminui.

Martins e Akasaki (2005) verificaram também, a absorção e a resistência à flexão do CAB (Concreto com Adição de Borracha). Nessa pesquisa constatou que este possui absorção maior do que o concreto convencional e que a resistência à flexão diminuiu com a adição de fibras de borracha. Na análise da absorção de energia pelo concreto, os autores observaram que o CAB apresentou maior absorção de energia com o aumento da quantidade de fibras, pois os corpos de prova foram capazes de resistir a cargas mesmo após a primeira ruptura para todos os traços onde foram incorporadas as fibras médias.

Martins e Akasaki (2005) estudaram o comportamento do concreto de alto desempenho (CAD). Os autores adicionaram borracha ao CAD, e observaram que substituindo 11,35% do volume de areia pelo elastômero ocorre uma perda de 20% na resistência à compressão. O

CAD adicionado de borracha apresentou um comportamento diferenciado, quanto ao tipo de ruptura, em relação ao CAD convencional. De acordo com os autores, a adição de fibras de borracha induziu a um aumento na ductilidade do CAD com borracha.

Martins (2005) também estudou a influência da granulometria das partículas de borracha. O autor estudou a adição de partículas finas, médias e graúdas no concreto. Em seus resultados, verificou que a borracha fina causa menor prejuízo à resistência mecânica do concreto do que as demais. Neste mesmo estudo verificou a adição do resíduo de borracha diminuiu a trabalhabilidade do concreto.

Marques *et al.* (2005) também estudaram o uso de borracha de diferentes granulometrias. Os autores fizeram um comparativo entre as borrachas com e sem tratamento superficial a base de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas tiveram pouca variação para as partículas com e sem tratamento. Por sua vez, à absorção de água, verificada pelos autores foi menor no concreto contendo partículas mais finas do que no concreto contendo as partículas maiores de borracha, independentemente de passarem ou não por um tratamento inicial.

Mosca *et al.* (2005) realizaram dosagens de concreto com adição de borracha em substituição aos agregados miúdo e graúdo em teores de 1,2,3,4,5 e 6%. O uso da borracha vulcanizada proporcionou perdas de resistência à compressão de 9, 23, 39, 40, 68 e 75%, respectivamente.

França *et al.* (2005) verificou a aderência entre o concreto com adição de borracha e barras de aço. Para a realização do estudo, os autores produziram concreto com e sem adição de borracha, moldaram corpos-de-prova com uma barra de aço em seu interior e realizaram ensaios de aderência (teste da tração simétrica e teste de arrancamento). Nas barras de aço com diâmetro de 12,5 e 16 mm, a aderência entre o CAB e a barra de aço ficou dentro do recomendado pela NBR, apresentando pouca diferença o concreto convencional.

Marques (2005) e Marques *et al.* (2005), estudaram a adição de partículas de borracha ao concreto substituindo parte do agregado miúdo. Estas pesquisas demonstraram que o concreto com adição de borracha apresentou resistência mecânica inferior ao concreto convencional.

Marques *et al.* (2005) vai mais além, e verifica que para manter a resistência constante com a adição do elastômero foi necessário aumentar o consumo de cimento, ou seja, diminuir o fator a/c . Resumidamente, os autores demonstraram que a quantidade de ar incorporado ao concreto aumentou com a adição do resíduo proveniente da recauchutagem. O ar quando

incorporado ao concreto diminuiu o peso específico, contribuindo assim para a perda de resistência do concreto.

Ainda em sua pesquisa Marques *et al.* (2005) verificou o desgaste superficial do CAB por abrasão e concluiu que o desgaste do concreto é o mesmo tanto quando incorporado em seu volume 10% de borracha ou sem adição de borracha. De acordo com os autores, pode-se considerar que o CAB possui menor resistência à compressão, é possível que ele tenha maior resistência à abrasão do que o concreto convencional.

Albuquerque *et al.* (2006) dando continuidade nos estudos da granulometria da borracha adicionada ao concreto pesquisaram a adição de três diferentes granulometrias, utilizando dosagens de 5 a 25% de borracha em substituição de parte do volume de areia. Os autores observaram que à medida que se aumentava a quantidade do resíduo no concreto o ar incorporado também aumentava, principalmente quando utilizado partículas de dimensões menores. O aumento do teor do elastômero diminuiu a trabalhabilidade do concreto aumentando, assim, a demanda de aditivo superplastificante. Já para as propriedades mecânicas, os autores encontraram valores semelhantes, em comparação ao concreto referência, para a resistência à compressão com a adições de até 10%, para a resistência à tração uma proporção de 5% é segundo eles as quantidade ótima de borracha.

5.1 PROCESSO DE TRITURAÇÃO

A reciclagem de pneus envolve um ciclo que compreende a coleta, transporte, trituração e separação de seus componentes (borracha, aço e lona), transformando resíduos em matérias primas que serão direcionadas ao mercado, contribuindo para a preservação dos recursos naturais.

De acordo com Marques (2005), as várias granulometrias de borracha utilizadas nas diferentes pesquisas são obtidas através dos processos de trituração, moagem e peneiramento dos pneus inservíveis. Este último processo tem a finalidade de separar da matéria prima de borracha de impurezas como fios de nylon e aço de acordo com a Figura 10.

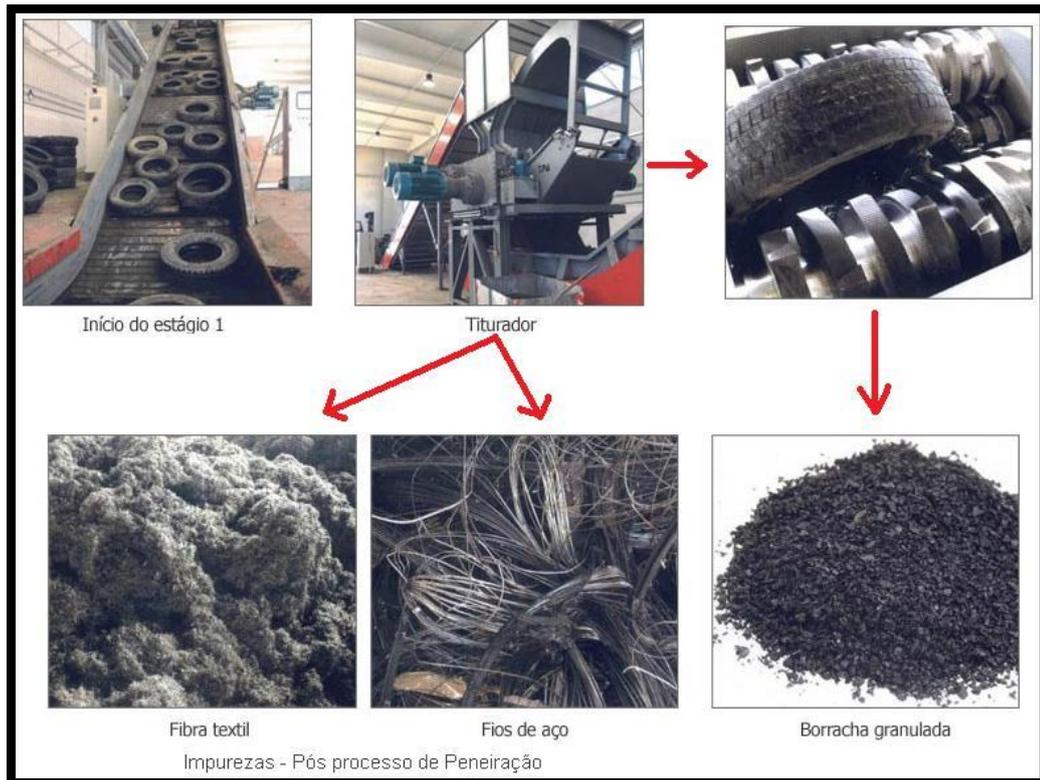


Figura 10: Ciclo de separação e moagem da borracha de pneu

Segundo Nirschl *et al.* (2002) a dimensão da granulometria é outra característica que interfere nos resultados obtidos. Em ensaios realizados pelos autores, onde foram comparando resíduos de menores dimensões, concluiu-se que a resistência à tração entre amostras contendo borracha de 3 a 1mm de diâmetro e menores que 1mm de diâmetro são próximas, embora a resistência seja levemente menor para as granulometrias mais finas.

Assim, pode ser observado através da literatura, que a granulometria, assim como a relação água/cimento e quantidade de borracha adicionada, interferem no material obtido, interferindo na sua trabalhabilidade principalmente.

Kamimura (2002) cita em sua pesquisa que quanto menor a granulometria maior o custo envolvido e, esse custo pode inviabilizar o desenvolvimento de alguns mercados potenciais. Sendo, de fundamental importância à parceria entre universidades e empresas, buscando-se analisar as oportunidades de mercado e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas à realidade brasileira e que possibilitem a utilização da borracha reciclada em larga escala.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto neste trabalho, foram moldados corpos-de-prova que visam analisar o comportamento do concreto não estrutural com incorporação de resíduos de pneus substituindo parcialmente à areia.

Este material formado poderá ser utilizado na construção de calçadas, meio fio, entre outros elementos não estruturais. Para tanto, foram estudadas algumas propriedades mecânicas destes concretos, com diferentes teores de substituição do agregado natural por resíduos de pneus tendo como base um concreto padrão.

6.1 PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS

As variáveis de acordo com Fioriti (2002) são aspectos que permitem analisar as características de qualidade exigidas. No caso do concreto com resíduos de pneu para calçadas, deseja-se que os mesmos apresentem bom desempenho mecânico e sejam duráveis.

Considerando que o objetivo deste trabalho é avaliar algumas das características do concreto para a construção de calçadas utilizando o resíduo de pneu como material agregado, foram definidas as variáveis que caracterizam mecanicamente o seu desempenho técnico:

- Resistência à compressão;
- Resistência à tração.

A partir das variáveis que se deseja analisar, foram definidas as variáveis que seriam trabalhadas, ou seja, foram definidos os parâmetros do processo, que são variáveis que podem ser alteradas e que tiveram algum efeito sobre os resultados obtidos:

- Percentuais de resíduos de pneus: foram utilizados percentuais de resíduos de pneus para os corpos-de-prova definidos em: 5%, 10% e 15% (em massa com relação à areia), em combinações que tiveram como base a dosagem padrão para cada concreto. Elemento este determinado de acordo com pesquisas satisfatórias realizadas por diferentes autores.
- Quantidade de água: com o objetivo de manter o mesmo slump e

verificar as variações apresentadas pelos materiais, cada dosagem apresentou teores diferentes de água para se criar uma massa homogênea.

Desta forma foram realizadas dosagens dos concretos padrões e as dosagens com a incorporação de resíduos de pneu e com suas relações água/cimento previamente definidas. Com isso a experimentação contou com um total de 8 dosagens realizadas para a confecção de 144 corpos-de-prova.

Depois de definidas as variáveis e os intervalos dos parâmetros do processo que foram trabalhados na pesquisa (quantidade de água e o percentual de resíduos de pneus), foram definidos os fatores que deveriam ser mantidos constantes durante a execução do experimento. Para este trabalho optou-se por manter constante:

- Idade do concreto: foram estabelecidas como padrão para o estudo da resistência à compressão e à tração as idades de 7, 28 dias. Para os ensaios padrões e de substituição parcial da areia pela borracha. As idades foram escolhidas, utilizando-se como base estudos semelhantes encontrados na literatura;
- Tipo de cura: ficou estabelecido que os corpos-de-prova receberiam o ciclo de cura natural, por um período de 24 horas, onde a cura consistiu na sua realização em condições ambientes. Posteriormente, os corpos-de-prova foram colocados em uma câmara úmida onde permaneceram até as datas dos ensaios;
- Trabalhabilidade (“slump-test”): foi determinada que a trabalhabilidade determinada através do teste de abatimento de tronco de cone, também conhecido como slump-test, seria outro fator padronizado na pesquisa e o mesmo deveria estar fixo entre os valores de 50 e 70 mm.

Na Tabela 7 é então apresentada uma programação esquemática envolvendo todos os parâmetros de execução dos experimentos, bem como o número de corpos-de-prova que foram moldados e utilizados para cada ensaio.

Tabela 7: Programa experimental

CLASSE	A/C	RESÍDUOS DE PNEUS (%)	Nº DE DOSAGENS PRODUZIDAS	ENSAIOS REALIZADOS POR DOSAGEM	(*) Nº DE CP's ENSAIADOS PARA 7 DIAS	(*) Nº DE CP's ENSAIADOS PARA 28 DIAS
C 20	0,63	-	1	Compressão	3	6
				Tração	3	6
	0,58	5%	1	Compressão	3	6
				Tração	3	6
	0,55	10%	1	Compressão	3	6
				Tração	3	6
	0,55	15%	1	Compressão	3	6
				Tração	3	6
C 25	0,54	-	1	Compressão	3	6
				Tração	3	6
	0,58	5%	1	Compressão	3	6
				Tração	3	6
	0,58	10%	1	Compressão	3	6
				Tração	3	6
	0,57	15%	1	Compressão	3	6
				Tração	3	6
Total		8			144	

Considerar: CP = Corpos-de-prova

(*) O número de corpos de prova aos 28 dias variou por idade como forma de apresentar maior confirmar os resultados obtidos.

6.2 CARACTERIZAÇÃO PRÉVIA DOS MATERIAIS

Todos os materiais empregados na parte prática da pesquisa, resíduos de borracha de pneu, agregado miúdo e o agregado graúdo, foram fornecidos pelas empresas da região de Maringá-PR.

6.2.1 Cimento

O cimento em estudo trata-se do CP II-Z-32 da marca Votoran, cujas especificações apresentadas na Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10; foram obtidas junto ao fabricante. Todas as

características deste material atendem as normas brasileiras com relação ao limite mínimo de qualidade.

Tabela 8: Composição do cimento

TIPO	SIGLA	CLASSE	NORMA	CLÍNQUER + GESSO	CALCÁRIO	POZOLANA
II	CP II Z	32	11578	76 a 94%	0 a 10%	6 a 14%

Fonte: Votorantim (2010).

Tabela 9: Exigências físicas e mecânicas do cimento

FINURA		TEMPO DE PEGA		EXPANSIBILIDADE		RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
<i>Resíduo na peneira 75mm (%)</i>	<i>Área específica (m²/Kg)</i>	<i>Início (h)</i>	<i>Término (h)</i>	<i>A frio (mm)</i>	<i>A quente (mm)</i>	<i>1 dia</i>	<i>3 dias</i>	<i>7 dias</i>	<i>28 dias</i>
≤ 12,0	≥ 260	≥ 1	≤ 10 (1)	≤ 5	≤ 5	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32

Fonte: Votorantim (2010).

Tabela 10: Exigências químicas do cimento

RESÍDUO INSOLÚVEL (%)	PERDA AO FOGO (%)	MGO (%)	SO₃ (%)	CO₂ (%)	S (%)
≤ 16,0	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5	-

Fonte: Votorantim (2010).

Tabela 11: Massa unitária do cimento

TIPO	MASSA UNITÁRIA
CP II-Z-32	2,99 g/cm ³

Fonte: Votorantim (2010).

A opção pela escolha deste tipo de cimento Portland se deu por se tratar do cimento mais comumente aplicado em obras usuais no mercado da construção civil e principalmente devido às pesquisas relacionadas onde verificaram que o uso de cimento com maior resistência inicial não apresentaram diferentes resultados, isto devido às propriedades da borracha de pneu.

6.2.2 Resíduos de borracha de pneu (Pneu triturado)

6.2.2.1 Coleta e Beneficiamento da Amostra de Resíduos de Pneus

Os resíduos de borrachas de pneu foram fornecidos pela empresa RECIBRAS, localizada na cidade de Apucarana-PR. Este material foi selecionado e passou pelo processo de trituração até a obtenção da granulométrica desejada, como pode ser observado na Figura 11.



Figura 11: Resíduo da borracha de pneu

Na empresa os pneus coletados passam pelo processo de separação, trituração e peneiração, onde são separadas a borracha dos demais materiais componentes dos pneus. Esta peneiração acaba por classificar quanto à granulometria, em um processo de classificação prévia, antes do material sair da fábrica para a comercialização.



Figura 12: Processo de industrialização do resíduo

Fonte: Recibras (2010).

De acordo com estudos realizados por diferentes autores como, por exemplo: Segre e Joekes (2000) e Eldin e Senouci (1993) entre outros, o tamanho das partículas dos resíduos de pneus utilizados em compósitos de concreto, interferem diretamente nos resultados de resistência à compressão, ou seja, quanto maior as granulometrias utilizadas menores serão as resistências obtidas no concreto.

Outros autores como Li *et al.* (2004); Albuquerque *et al.* (2002); Nirschl *et al.* (2002), compararam a utilização de resíduos com granulometrias menores, tipo pó, e constaram perda maiores nas resistências mecânicas, como compressão e tração se comparados a uma granulometria um pouco maior.

Fazendo comparativo entre alguns estudos já realizados nesta área, chegou-se a conclusão que a granulometria mais adequada para o uso dos resíduos de pneu em compósitos de concreto está na faixa de 0,8 e 2,38mm. Lembrando que a granulometria dos demais agregados, assim como tipo de cimento, preparo e demais fatores, também influencia no resultado final.

A borracha utilizada não passou por nenhum tipo de tratamento antes da incorporação no preparo do concreto. Esta opção foi tomada visando minimizar custos e simplificar os métodos para tornar economicamente viável a reciclagem.

A opção de não efetuar tratamento superficial na borracha também foi devido à falta de um consenso nos estudos presentes na bibliografia como aponta Freitas (2007). Segundo Segre (2001) o tratamento superficial melhora a aderência entre a pasta de cimento e a borracha, por

outro lado Li *et al.* (2004) concluíram que o tratamento não interfere na resistência mecânica do concreto.

Marques (2005) tratou o resíduo de borracha com hidróxido de sódio no estudo de adição de borracha na argamassa e não obteve resultados satisfatórios. Por outro lado Albuquerque *et al.* (2006) também estudaram o tratamento superficial com aditivo vinílico, acrílico e estireno-butadieno e concluíram que os tratamentos são eficazes.

6.2.3 Agregados naturais

Para avaliar as características dos materiais graúdos e miúdos (brita, areia), materiais observados na Figura 13, foram realizados procedimentos experimentais normatizados de granulometria, massa específica e massa unitária, como descrito nos capítulos seguintes.



Figura 13: Agregado graúdo e miúdo

Os agregados naturais inicialmente podem ser classificados quanto sua origem. A brita tratasse de um material de origem basáltica e a areia de origem de quartzo.

6.2.4 Água

A água destinada ao amassamento do concreto deve ser isenta de impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e o cimento. Normalmente as águas potáveis são satisfatórias para o uso em concreto.

Na prática, quase todas as águas naturais são utilizáveis. Os maiores defeitos provenientes da água têm maior relação com o excesso de água empregada do que propriamente com os elementos que ela possa conter.

A reação química do cimento com a água é fundamental para dar ao concreto as propriedades mais importantes: resistência, durabilidade, trabalhabilidade, impermeabilidade, etc.

Atualmente, pesquisadores e tecnólogos do concreto, afirmam que todas as propriedades do concreto melhoram com a redução da água aplicada (desde que a massa continue plástica e trabalhável). Deve-se, portanto, procurar-se evitar o comumente visto em obras, o preparo de concreto muito fluido, usado por facilitar os trabalhos de concretagem.

A trabalhabilidade do concreto exige, entretanto, relação água/cimento (ou fator água/cimento), relação entre o peso da água e do cimento empregados na mistura. De acordo com a norma ABNT NBR 6118 é usualmente entre 0,45 a 0,65 (Kg/Kg).

6.3 ENSAIOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

6.3.1 Composição granulométrica

Uma das razões para a especificação de limites granulométricos e da dimensão máxima dos agregados é a sua influência na trabalhabilidade do concreto. Este procedimento é normatizado pela ABNT NBR NM 248/2003.

As amostras de agregados miúdos (areia natural e borracha), e agregado graúdo (brita), para a realização dos ensaios foram coletadas e secadas em temperatura ambiente por um período de 72 horas. Depois foram formadas duas amostras para cada procedimento experimental.

Foram analisadas amostras de borracha, de areia além da brita, totalizando seis amostras. A massa das amostras do agregado miúdo era de 500g e a da brita de 2500g, todas pesadas em balança de precisão.

As peneiras, previamente limpas, foram encaixadas de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo (25mm-19mm-12,7mm-9,5mm-6,3mm-4,8mm-2,4mm-1,2mm-0,6mm-0,3mm-0,15mm-fundo). Para cada amostra, ou porções da mesma foram colocadas sobre a peneira superior do conjunto e foram agitadas manualmente. Procedeu-se a agitação manual das peneiras, até que todas as peneiras tenham sido verificadas, conforme ilustra a Figura 14.



Figura 14: Ensaio de granulometria da borracha de pneu

A caracterização dos agregados apresentou resultados conforme ilustra a Tabela 12 e detalhado nos gráficos da Figura 15, Figura 16 e Figura 17.

Tabela 12: Característica granulométricas

<i>PROPRIEDADE</i>	<i>AREIA</i>	<i>BORRACHA</i>	<i>BRITA</i>
Diâmetro Maximo	1,2 mm	1,2 mm	19 mm
Módulo de finura	2,87	3,85	8,91
Classificação (NBR 7211)	Média	Média	Brita 1

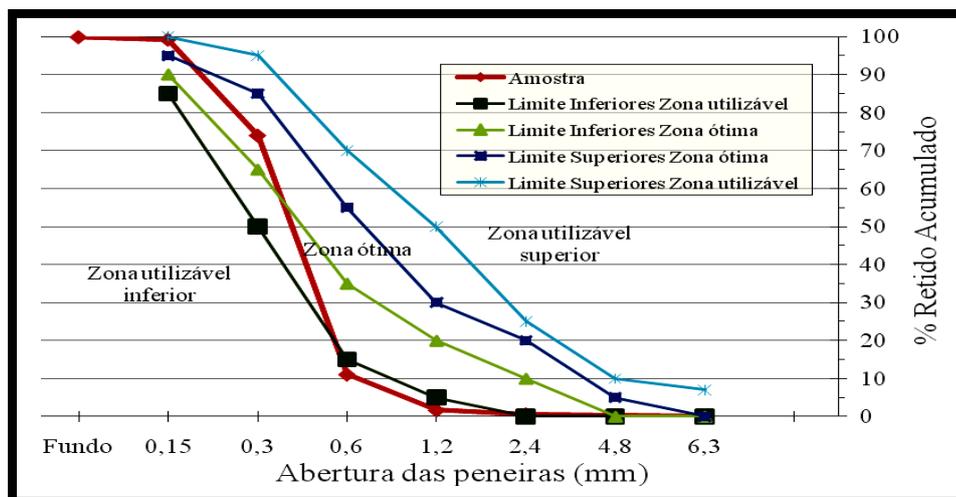


Figura 15: Curva granulométrica agregado miúdo natural (areia)

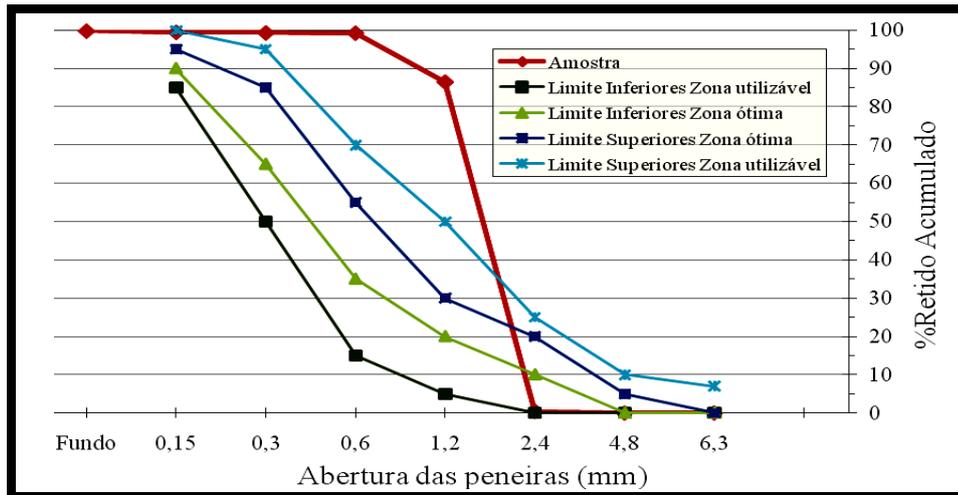


Figura 16: Curva granulométrica agregado miúdo reciclável (borracha)

A fração dos resíduos que passara, na peneira de abertura de malha 1,20mm, utilizados na confecção dos corpos-de-prova, representam em média 89% do volume total dos resíduos de pneus utilizados neste estudo.

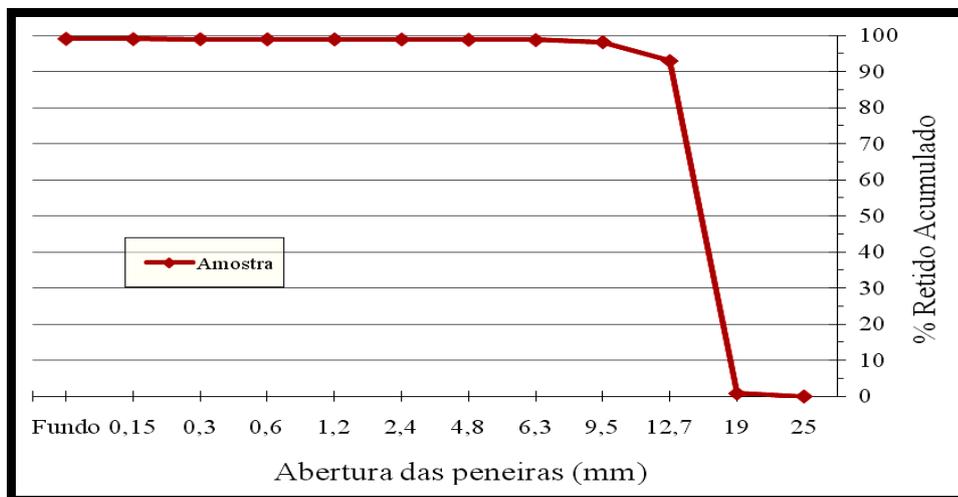


Figura 17: Curva granulométrica agregado graúdo natural (brita)

Sabe-se que quanto maior e é o módulo de finura dos agregados, conseqüentemente será maior o tamanho das partículas. Para os resíduos de borracha de pneu, o módulo de finura ficou um pouco acima das médias dos valores apresentados pela norma ABNT NBR 7211/2005 para agregados miúdos naturais. Isso se deve a distribuição granulométrica dos resíduos e dos agregados naturais serem diferentes, somado ainda ao formato e a textura das

partículas de cada material e a composição e o beneficiamento dos resíduos de pneu, que influenciam diretamente sobre os resultados obtidos.

Analisando as características granulométricas dos materiais utilizados, pode-se perceber pelas curvas uma evidencia de materiais com granulometria contínua, característica importante para a produção do concreto. De acordo com Neville (1995), agregados com granulometria contínua são muito bons para serem usados em obras através do bombeamento. O autor afirma também que a composição granulométrica dos agregados possui grande influência sobre a trabalhabilidade, sendo esta influencia, muito maior que na resistência mecânica. Outra influencia, de acordo com o autor, esta relacionada à área superficial do agregado, o que determina a quantidade de água necessária para umedecer completamente os sólidos da mistura, que altera o volume relativo ocupado pelo agregado; a trabalhabilidade da mistura; e a segregação.

Segundo Neville (1995 apud. Fioriti 2007), os agregados devem possuir quantidades razoáveis de material fino menor que 0,30 mm para que a mistura do concreto fique menos ásperas.

6.3.2 Ensaios de Massa Unitária

É por meio da massa unitária que são feitas as transformações de massa para volume e vice-versa. A massas unitária dos agregados, também conhecidas por massa específica aparente são normatizadas pela ABNT NBR 7251/1982.

Para a determinação da massa unitária foi utilizado um recipiente com volume de $19226,025\text{cm}^3$ (largura= 31,3cm; comprimento=31,5cm e altura 19,5cm). Foram colhidas amostras de agregados miúdo (areia e borracha de pneu), e agregado graúdo (brita) devidamente secas em temperatura ambiente por um período de 72 horas. Cada amostra de agregado foi lançado por um concha a uma altura de 10cm a 12cm do topo do recipiente sem qualquer adensamento, procurando-se desse modo reproduzir a situação da obra, quando o operário transporta o agregado em baldes ou padiolas, sem adensamento. O volume que ficou sobrando foi regularizado com uma régua, tomando como limite as bordas do recipiente conforme ilustra a Figura 18. O recipiente foi pesado com o agregado nele contido para a determinação da massa.



Figura 18 Ensaio da massa unitária solta da areia

Vale ressaltar que o teste deve ser realizado em triplicata segundo a norma e posteriormente trabalhando com o valor médio obtido.

A massa específica aparente considerada foi obtida pela média das massas de cada agregado dividido pelo volume do recipiente utilizado. Resultando valores apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Massa unitária no estado solto dos agregados

<i>MATERIAL</i>	<i>MASSA UNITÁRIA</i>
Areia	1,557 g/cm ³
Borracha de pneu	0,468 g/cm ³
Brita 1	1,680 g/cm ³

Este ensaio tem por objetivo principal, verificar a massa unitária do material agregado com os espaços de ar e umidade que existem entre cada agregado e assim determinar seu uso para o traço do concreto.

6.3.3 Ensaio de Massa Específica

A empregabilidade deste ensaio é para analisar a quantidade de material orgânico encontrado dentro do agregado e também saber a real massa do material.

6.3.3.1 Determinação da massa específica do agregado miúdo natural (areia)

A determinação da massa específica e da massa específica aparente para a areia seguiu o procedimento descrito na NBR NM 52/2002.

Foi utilizado um recipiente graduado próprio para o ensaio, chamado de Chapman. No recipiente foram colocadas água até uma medida determinada (200cm^3). Então foi colocada 500g de agregado seco, movendo para eliminar as bolhas de ar, de acordo com a Figura 19.



Figura 19 Massa específica através do Chapman

Foram realizadas duas avaliações para se ter uma média da massa. O material ensaiado apresentou resultados muito próximos como ilustra a Tabela 14.

Tabela 14: Leitura dos frascos de Chapman

<i>TESTE</i>	<i>MASSA ESPECÍFICA</i>	
	<i>LEITURA</i>	<i>VALOR CORRIGIDO</i>
Frasco 1	389 g/cm ³	388,63 g/cm ³
Frasco 2	388,9 g/cm ³	388,19 g/cm ³

Os valores referentes à leitura dos frascos foram corrigidos, pois os recipientes exigirem um fator de correção que se dá pelas seguintes Equações 16 e 17:

$$VR_1 = -1,26176 + 1,0023 * (LF) \quad (\text{Eq. 14})$$

$$VR_2 = -0,7888 + 1,0002 * (LF) \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde:

VR_1 = Valor real corrigido frasco 1;

VR_2 = Valor real corrigido frasco 2;

LF = Leitura do frasco.

A leitura do nível atingido pela água no gargalo indica o volume em cm^3 do conjunto, e posteriormente deduz-se o volume do agregado. A massa específica é a massa dividida pelo volume, expressa em g/cm^3 .

Desta forma, a massa específica do agregado miúdo (areia) apresentada na Tabela 15, foi obtida pela Equação 18:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde:

γ = massa específica do agregado miúdo (g/cm^3);

L = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água/agregado miúdo).

Desta forma verificou-se que a massa específica do agregado miúdo (areia) é:

Tabela 15: Massa específica da areia

<i>TESTE</i>	<i>MASSA ESPECÍFICA</i>
Frasco 1	2,651 g/cm^3
Frasco 2	2,657 g/cm^3
Média	2,654 g/cm^3

6.3.3.2 Determinação da massa específica da borracha de pneu

Foi utilizado um recipiente graduado próprio para o ensaio, chamado de Picnômetro. O teste foi realizado em duplicata desta forma utilizando-se de dois frascos semelhantes, como observado na Figura 20.

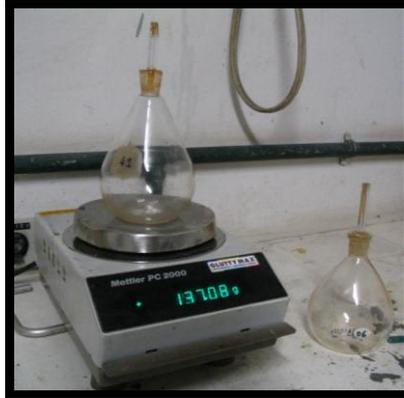


Figura 20: Pesagem dos frascos de picnômetro

No recipiente foi colocada água até encher o picnômetro com água destilada em temperatura ambiente. Posteriormente foi tampado de maneira que o excesso de líquido escorra pelo capilar, observando a eliminação de bolhas de ar (a presença de bolhas promove erro no resultado).

Com os picnômetros externamente secos cuidadosamente. Foram pesados para obter o peso dos frascos repleto com água.

A norma recomenda a realização desta operação o mais delicada e rapidamente possível, para evitar que o líquido mude de temperatura com relação à ambiente. Anotando o valor médio da temperatura que de acordo com a norma deve estar entre $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

O outro passo foi retirar uma parte da água, adicionar 30g de agregado miúdo (borracha de pneu) e completar com água para encher o picnômetro até 90% de sua capacidade. Eliminando-se as bolhas de ar, foi colocada a tampa no picnômetro e completado com água até a marca de referência. Pesando para se obter o valor do picnômetro com a amostra e a água conforme pode ser visto na Tabela 16.

Tabela 16: Determinação do peso específico dos grãos

<i>DESCRIÇÕES</i>		<i>ENSAIOS</i>	
		<i>FRASCO 1</i>	<i>FRASCO 2</i>
Picnômetro n°/peso		06/150,89	41/136,98
Amostra seca (gf)	A	30g	30g
Picnômetro+água (gf)	B	635,75g	654,88g
Picnômetro+borracha+água (gf)	C	615,27g	630,65g
Temperatura de ensaio (°C)		25°	25°

Os valores de massa específica do agregado foram encontrados utilizando a seguinte Equação 16:

$$\gamma_{ab} = \frac{A}{A + B - C} \quad (\text{Eq. 17})$$

Desta forma a massa específica pode ser observada na Tabela 17.

Tabela 17: massa específica da borracha

<i>FRASCO</i>	<i>MASSA DAS AMOSTRAS</i>
1	0,59 g/cm ³
2	0,55 g/cm ³
Média	0,57 g/cm³

6.3.3.3 Determinação da massa unitária do agregado graúdo

A absorção mede a quantidade de água que pode preencher os poros comunicantes nos grãos de uma massa de agregados. A massa unitária na condição seca é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os vazios permeáveis. O ensaio foi realizado para o agregado graúdo utilizando a NBR NM 53/2003.

Foi realizada a coleta de duas amostras de 2,0 kg de agregado graúdo. A primeira amostra foi lavada e secada em estufa por um período de 24 horas. Após esfriar, a amostra foi pesada (*m*) e submersa em água à temperatura ambiente por um período de 24 horas. Em seguida foi retirada da água e envolvida em um pano absorvente até que toda água visível fosse eliminada

e novamente pesada (ms). Posteriormente o material foi colocado em um cesto de arame e submerso em água e mais uma vez pesado (ma) conforme ilustra a

Figura 21. Todo o procedimento foi repetido para as demais amostras conforme Tabela 18.



Figura 21: Ensaio da massa unitária do agregado graúdo

Tabela 18: Leitura das amostras de brita

<i>AMOSTRA N°</i>	<i>MASSA DAS AMOSTRAS (g)</i>		
	<i>SECA</i>	<i>SATURADA SUPERFÍCIE SECA</i>	<i>IMERSA EM ÁGUA</i>
01	450,94	537,25	282
02	455,12	538,06	282,48
03	463,56	546,81	289,88
Média	456,54	540,71	284,79

O resultado do ensaio é a média das determinações. Os valores de massa unitária do agregado na condição seca e de absorção de água foram encontrados utilizando a Equação 20 e 21 e são apresentados na Tabela 19.

$$\gamma_s = \frac{A}{B - C} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$a = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (\text{Eq. 19})$$

Onde:

γ_s = massa unitária do agregado na condição seca (kg/dm³ ou em g/cm³);

A = massa do agregado seco (kg ou g);

B = massa do agregado na condição saturada seca (kg ou g);

C = leitura correspondente ao agregado imerso em água (kg ou g);

a = absorção do agregado em porcentagem;

Tabela 19: Massa unitária da brita

<i>AMOSTRA N°</i>	<i>MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO NA CONDIÇÃO SECA (g/cm³)</i>	<i>ABSORÇÃO DO AGREGADO (%)</i>
01	1,766	19,14
02	1,781	18,22
03	1,804	17,96
Média	1,784 g/cm³	18,44%

6.4 DOSAGEM, PRODUÇÃO E MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Os primeiros processos a serem preparados foram os chamados concretos Padrão C20 e C25, estas formulações foram consideradas como teste base para os demais preparos. O traço rodado para os ensaios foi 1:5 (cimento:agregados) obtidos através da metodologia apresentada no Item 3.1.

Com a betoneira desligada, foi inserido o agregado miúdo e graúdo (areia e brita respectivamente). Em seguida a betoneira foi ligada por um minuto para a mistura dos materiais secos. Posteriormente foi adicionada metade da água; homogeneizando-os por mais um minuto. Após essa mistura, com a betoneira desligada, foi adicionado o cimento e o restante da água ligando a betoneira por aproximadamente cinco minutos obtendo um material homogêneo de acordo com Figura 22.



Figura 22: Preparo e aspecto do concreto

Após a elaboração do concreto, foi avaliada a trabalhabilidade da mistura através do ensaio de abatimento de tronco de cone, o “slump-test”. O “slump” foi determinado como ponto fixo para todos os ensaios não sendo considerado como parâmetro a ser avaliado, prevalecendo desta forma o fator a/c (água/cimento) como parâmetro variável a ser avaliado.

Como o objetivo do trabalho foi estudar o comportamento do concreto com borracha comparando com um concreto padrão não com o concreto de uma classe específica, o ajuste se deu pela trabalhabilidade, onde se fez variar o fator água/cimento (a/c) de modo a proporcionar a trabalhabilidade desejada: entre 5 e 7cm no ensaio de abatimento de tronco de cone.

O Abatimento de Tronco de Cone seguindo as diretrizes da ABNT NN 67/1998, conforme ilustra a Figura 23, com adição de água, quando se fez necessário, para os primeiros ensaios, concreto padrão C20 e C25, atingiu a medida de consistência de 6,5cm estando assim dentro da meta desejada. Desta forma fixou-se para os demais ensaios a mesma trabalhabilidade dos concretos padrões.



Figura 23: Ensaio de “slump-test”

Outro ensaio realizado com o concreto em estado fresco foi à determinação da massa específica aparente do concreto conforme ilustrado na Figura 24.



Figura 24: Ensaio de massa específica aparente

A massa específica aparente, ou massa unitária consiste em mensurar a quantidade de um agregado a partir do volume ocupado por ele, juntamente com os espaços vazios formados. Desta forma, foram realizados ensaios de acordo com a norma ABNT NBR 9833:2008.

Após isso, a mistura foi colocada nos moldes cilíndricos com 10cm de diâmetro e 20cm de altura, devidamente verificados e untados com óleo mineral para facilitar a retirada após secagem (período de 24 horas). O seu adensamento foi realizado por 12 “golpes” em duas diferentes camadas de acordo com a ABNT NBR 5738:2008 e conforme ilustrado na Figura 25.



Figura 25: Moldagem dos corpos-de-prova

Em todos os estudos foram moldadas a mesma quantidade de corpos-de-prova, sendo dezoito para cada concreto conforme descritos no Apêndice A.

Durante o período das primeiras 24 horas os corpos de prova foram mantidos em local coberto e bem ventilado. Após as 24 horas de cura ambiente o material foi desmoldado, catalogado e colocado em uma câmara úmida sendo mantido por 7, 28 dias, respeitando as idades dos ensaios mecânicos.

Durante o planejamento inicial, as idades para a realização dos ensaios mecânicos foram determinadas em 7, 28 e 35 dias, devido a este fato, foram preparados corpos de prova no total de 144. Mas como as idades de 28 e 35 dias são próximas podendo ser consideradas as mesmas, os resultados apresentados nestas duas idades (28 e 35 dias) foram somados e apresentados como uma idade única (28 dias). Com isso justifica-se o fato de nos resultados a seguir serem apresentados mais corpos de prova para a idade de 28 dias. Fator este que não altera na qualidade dos resultados apresentados nesta pesquisa mas que confirma com mais clareza as alterações mecânicas apresentadas pelo concreto com a adição da borracha de pneu.

7 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

7.1 CONCRETO PADRÃO

A dosagem para a realização dos ensaios seguem o método de dosagem IPT/EPUSP de Helene e Terzian (2001), onde foi aplicada dosagem de 1:5 (cimento: agregados), ou seja, 1:2:3 (cimento: areia: brita), a quantidade de borracha aplicada substitui a areia de acordo com os testes seguintes.

A quantidade aplicada de materiais para as dosagens padrão segue ilustração na Tabela 20.

Tabela 20: Dosagens Padrão

<i>CONCRETO</i>	<i>DOSAGENS DOS MATERIAIS EM kg</i>				
	<i>CIMENTO</i>	<i>AREIA</i>	<i>BRITA</i>	<i>BORRACHA</i>	<i>a/c</i>
Padrão C20	1	2	3	0	0,63
Padrão C25	1	2	3	0	0,54

De acordo com os dados apresentados na Tabela 20, tem-se que o consumo de cimento apresentados para o concreto padrão C20 é de 373,1Kg/m³ e para o concreto padrão C25 é de 386 Kg/m³ dados esses levantados sem considerar o ar incorporado ao concreto.

7.1.1 Massa específica aparente

Os materiais ensaiados seguindo o processo descrito no Item 0, apresentarão massas específicas muito próximas, de acordo com apresentado na Tabela 21. Foram realizadas três avaliações para se ter uma média da massa de cada traço piloto. As avaliações não levaram em consideração o ar incorporado ao concreto.

Tabela 21: Massa específica dos traços pilotos

<i>CONCRETO</i>	<i>MASSA ESPECÍFICA MÉDIA</i>
Padrão C20	2,43 g/cm ³
Padrão C25	2,42 g/cm ³

7.1.2 Ensaios Concreto Endurecido

Os compósitos padrões após preparo e processo de cura, que segue de acordo com o Item 0, foram submetidos a testes de compressão e tração, apresentando resultados distintos. Antes dos ensaios os materiais foram retirados da câmara úmida secados com pano e pesados. A Tabela 22 apresenta o peso dos corpos-de-prova.

Tabela 22: Peso dos compósitos padrões

<i>CORPO DE PROVA</i>	<i>PESO DOS CORPOS-DE-PROVA (kg)</i>	
	<i>PADRÃO C20</i>	<i>PADRÃO C25</i>
Média	3,81	3,90

7.1.2.1 Resistência à compressão

Antes da realização dos ensaios de resistência à compressão, os corpos-de-prova foram capeados em suas extremidades com enxofre conforme as recomendações da ABNT NBR 5738/1994 e ilustrados na Figura 26, criando camadas perfeitamente lisas para contato maior com a máquina de teste evitando imprecisões nos resultados.



Figura 26: Capeamento do corpo-de-prova

Os corpos-de-prova aos 7, 28 dias foram submetidos a forças de compressão nas superfícies superior e inferior de cada corpo-de-prova até o instante da ruptura do material, de acordo com a Figura 27, obtendo desta forma a resistência à compressão dos materiais testados conforme diretrizes da ABNT NBR 5739/1994.



Figura 27: Ensaio de resistência à compressão C25 padrão – CP 2

O ensaio padrão de resistência à compressão foram realizados com auxílio da máquina de compressão da marca EMIC com capacidade máxima para 100 tf, onde o corpo de prova foi cuidadosamente centralizado no prato inferior da máquina e aplicado uma carga contínua até o rompimento do corpo de prova. Os resultados obtidos no momento do rompimento são apresentados em Kgf/cm², e convertidos para Mega Pascal (MPa), conforme apresentados no Apêndice E.

A resistência à compressão é então determinada pelas Equações 19 e 20.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (\text{Eq. 20})$$

$$f_c = \frac{\sigma_c}{1\text{Mpa}} \quad (\text{Eq. 21})$$

Onde:

σ_c = resistência obtida no ensaio;

F = força máxima alcançada em tf;

A = área do corpo de prova;

f_c = resistência em MPa.

A Tabela 23 e a Figura 28, ilustram os resultados médios dos ensaios de compressão para os corpos de prova de concreto sem adição de borracha.

Tabela 23: Resistência à Compressão dos CP's sem adição de borracha

<i>IDADE</i>	<i>CONCRETO</i>	<i>CARGA DE RUPTURA (kN)</i>	<i>TENSÃO DE RUPTURA (MPa)</i>
7 dias	Padrão C20	151,33	18,93
	Padrão C25	136,67	17,09
28 dias	Padrão C20	214,00	26,77
	Padrão C25	222,25	27,80

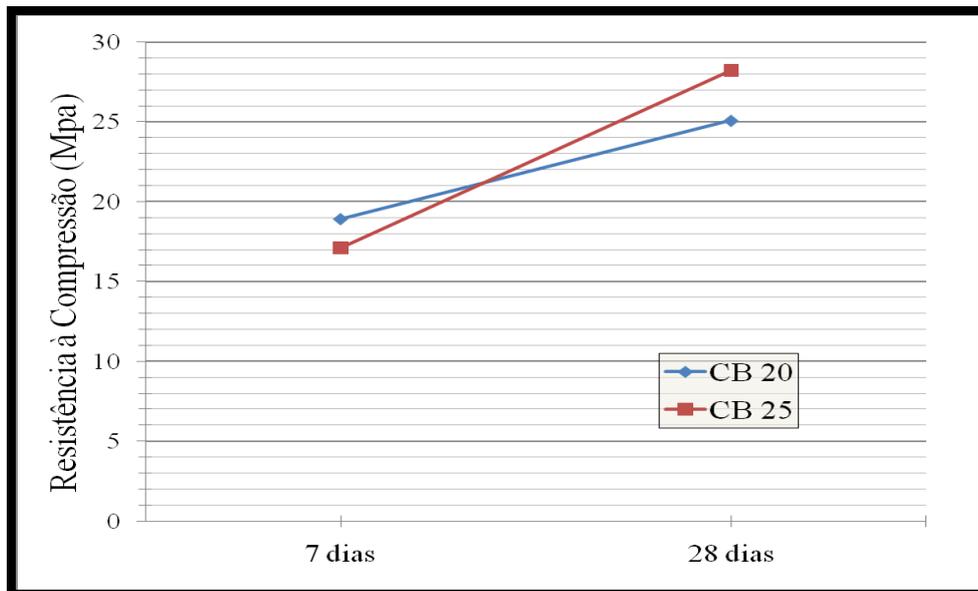


Figura 28: Evolução da Resistência à Compressão dos CP's Padrões

7.1.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

O teste de resistência à tração por compressão diametral, também conhecido como “teste brasileiro”, foram realizados nos corpos-de-prova com idades de 7, 28 e 35 dias. Os CP's foram submetidos a forças até o instante da ruptura dos mesmos, obtendo desta forma a resistência à tração dos materiais testados conforme diretrizes da ABNT NBR 7222/1994.

Utilizando a máquina de compressão o teste foi realizado seguindo os seguintes passos: inicialmente foi colocado o corpo de prova de forma que ficasse em repouso ao longo do prato da máquina de teste colocando ripas de madeira nas faces de contato entre eles, posteriormente foi aplicada uma carga contínua, até o momento de ruptura, conforme ilustrado na Figura 29 obtendo os resultados apresentados no Apêndice F.



Figura 29: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral corpo-de-prova padrão

Os resultados obtidos no momento do rompimento, ilustrados no Tabela 24 e na Figura 30, foram então determinados de acordo com Item 3.3.1.1.

Tabela 24: Resistência à tração por compressão diametral dos CP's sem adição de borracha

<i>IDADE</i>	<i>CONCRETO</i>	<i>CARGA DE RUPTURA (kN)</i>	<i>TENSÃO DE RUPTURA (MPa)</i>
7 dias	Padrão C20	68,73	2,15
	Padrão C25	57,67	1,18
28 dias	Padrão C20	88,13	2,60
	Padrão C25	76,43	2,39

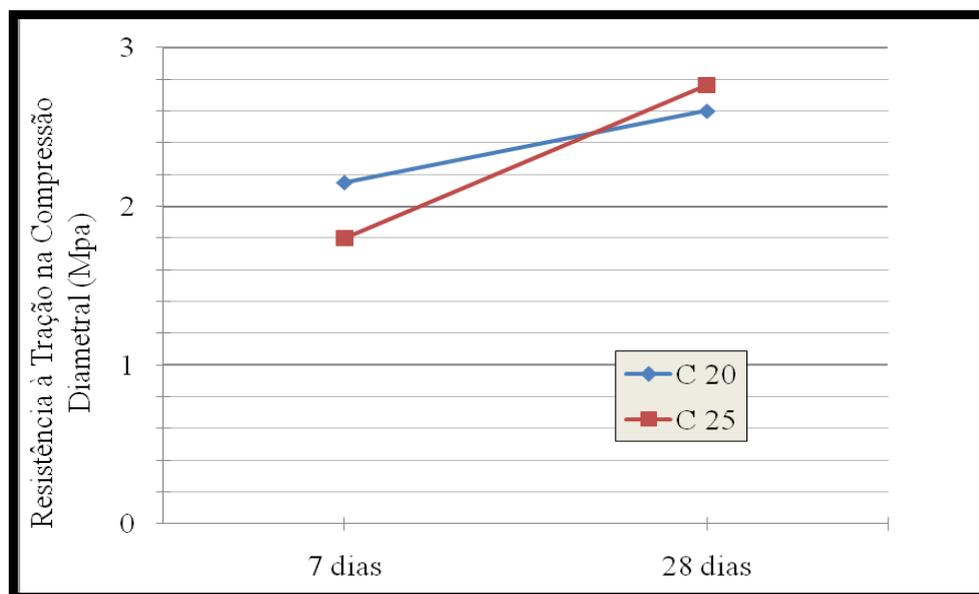


Figura 30: Evolução da Resistência à tração por compressão diametral dos CP's Padrões

7.2 CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA POR RESÍDUO DE PNEU

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos neste trabalho foram realizados experimentos, buscando avaliar algumas propriedades do concreto com adição de borracha de pneu.

Há título de convenção para melhor apresentação dos estudos o concreto com substituição parcial de areia por resíduo de borracha será convencionalmente chamado de CB.

Os preparos dos compósitos ocorreram da mesma forma e seqüência que os compósitos padrões, apenas substituindo parcialmente a quantidade de areia por borracha de pneu nos teores de 5, 10 e 15%. Desta forma no procedimento final de preparo, juntamente com o cimento e o restante da água a borracha de pneu foi adicionada, ligando a betoneira por aproximadamente cinco minutos

A quantidade de materiais utilizados consta no Tabela 25.

Tabela 25: Dosagem dos CP's com substituição parcial

CONCRETO		CONSUMOS (Kg/dm³)				
		CIMENTO	AREIA	BRITA	BORRACHA	a/c (Kg)
CB 20	Padrão	1	2	3	0	0,63
	5 %	1	1,9	3	0,1	0,58
	10 %	1	1,8	3	0,2	0,55
	15 %	1	1,7	3	0,3	0,55
CB 25	Padrão	1	2	3	0	0,54
	5 %	1	1,9	3	0,1	0,58
	10 %	1	1,8	3	0,2	0,58
	15 %	1	1,7	3	0,3	0,57

A borracha de pneu incorporada ao concreto apresenta-se com granulometrias variando de acordo com os testes granulométricos. Com o intuito de facilitar a incorporação deste resíduo ao material, dando assim ao mesmo um novo uso, o material empregado não se apresenta com uma granulometria específica encontrando-se entre a granulometria mencionada por diferentes autores, ou seja, partículas de borracha de pneu na faixa de 0,8 e 2,0 mm.

7.2.1 Massa específica aparente

A massa específica para os concretos com borracha apresentaram variações consideráveis se comparados aos concretos padrões, conforme ilustra o Tabela 26.

Tabela 26: Massa específica dos CP's com substituição parcial

<i>CONCRETO</i>	<i>MASSA ESPECÍFICA MÉDIA</i>		
	<i>5%</i>	<i>10%</i>	<i>15%</i>
CB 20	2,364 g/cm ³	2,259 g/cm ³	2,188 g/cm ³
CB 25	2,344 g/cm ³	2,298 g/cm ³	2,239 g/cm ³

7.2.2 Ensaios Concreto Endurecido

Seguindo o processo dos concretos padrões após preparo e processo de cura, os corpos-de-prova foram submetidos a testes de compressão e tração, apresentando resultados distintos. Antes dos ensaios os materiais com borracha foram retirados da câmara úmida secados com pano e passaram por processo de pesados para simples conferência obtendo médias de peso apresentadas no Tabela 27.

Tabela 27: Peso dos CP's com substituição parcial

<i>CP's</i>	<i>PESO DOS CORPOS-DE-PROVA (kg)</i>					
	<i>CB 20</i>			<i>CB 25</i>		
	<i>5%</i>	<i>10%</i>	<i>15%</i>	<i>5%</i>	<i>10%</i>	<i>15%</i>
Média	3,809	3,592	3,470	3,759	3,647	3,593

7.2.2.1 Resistência à compressão

De acordo com o processo descrito nos compósitos padrões no Item 7.1.2.1, os corpos-de-prova foram capeados em suas extremidades com enxofre para que a distribuição da carga de compressão durante o teste seja homogênea.

Os corpos-de-prova com borracha nos percentuais de 5, 10 e 15% dos concretos classes C20 e C25, foram submetidos a forças de compressão aos 7, 28 dias conforme diretrizes da ABNT NBR 5739/1994 até o instante da ruptura do material conforme ilustrado na Figura 31, obtendo os resultados apresentados no Tabela 28 e no Apêndice E. Obtendo evoluções diferenciadas para cada compósito, como representadas no gráfico da Figura 32e Figura 33.



Figura 31: Ensaio de resistência à compressão CB 25 -5% – CP 2

Tabela 28: Resistência à compressão CP's dos CB's

<i>IDADE</i>	<i>CONCRETO</i>	<i>CARGA DE RUPTURA (kN)</i>	<i>TENSÃO DE RUPTURA (MPa)</i>
7 dias	CB20-5%	109,00	13,63
	CB20-10%	107,00	13,38
	CB20-15%	79,33	9,92
7 dias	CB25-5%	134,17	16,78
	CB25-10%	84,17	10,53
	CB25-15%	78,17	9,78
28 dias	CB20-5%	184,67	23,10
	CB20-10%	137,67	17,22
	CB20-15%	112,25	14,04
28 dias	CB25-5%	194,25	24,30
	CB25-10%	135,58	16,96
	CB25-15%	120,42	15,06

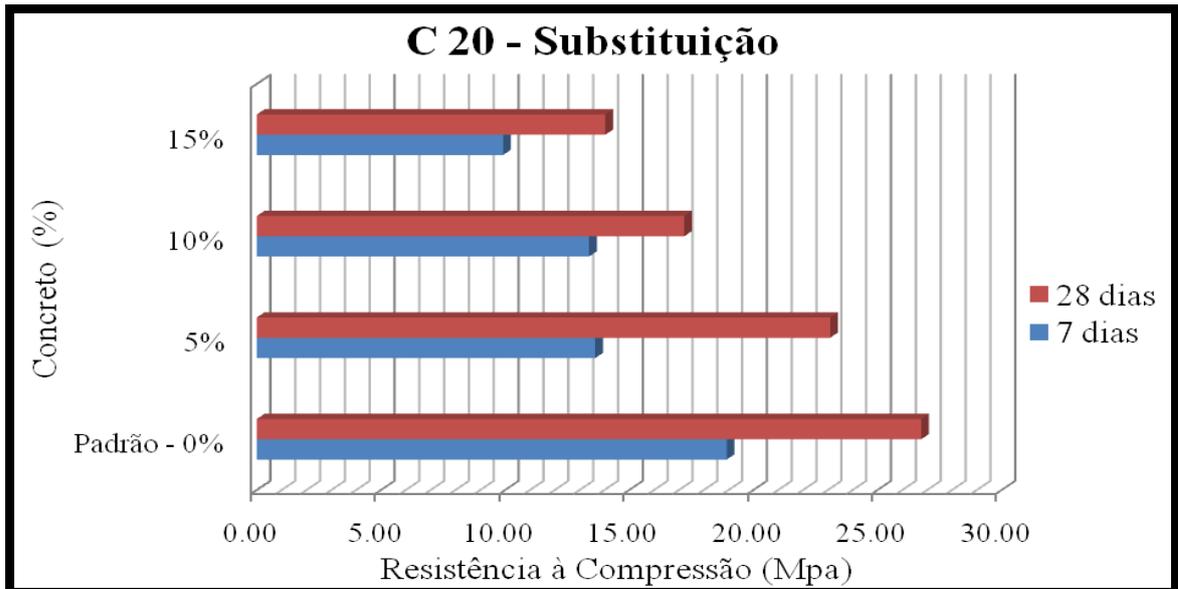


Figura 32: Resistência à Compressão, C20 com substituição por borracha

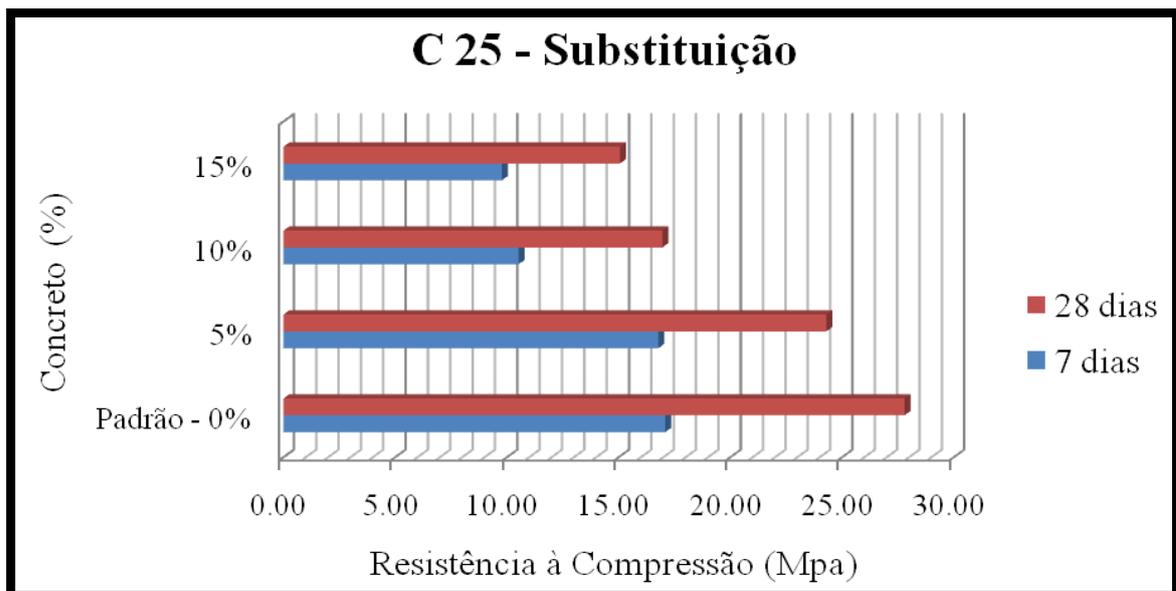


Figura 33: Resistência à Compressão, C25 com substituição por borracha

7.2.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral, também conhecidos como “Brasillian Test”, conforme diretrizes da ABNT NBR 7222/1994 foram realizados nos corpos-de-prova contendo substituição parcial da areia por borracha de pneu nos percentuais de 5, 10 e 15% para os concretos de classe C20 e C25, com idades de 7, 28 dias obtendo resultados apresentados no Tabela 29 e a evolução evidenciada nos gráficos apresentados na Figura 34 e Figura 35

Tabela 29: Resistência à tração por compressão diametral CP's dos CB's

<i>IDADE</i>	<i>CONCRETO</i>	<i>CARGA DE RUPTURA (kN)</i>	<i>TENSÃO DE RUPTURA (MPa)</i>
7 dias	CB 20 -5%	59,60	1,86
	CB 20 -10%	52,60	1,65
	CB 20 -15%	49,53	1,55
7 dias	CB 25 -5%	57,00	1,78
	CB 25 -10%	46,53	1,46
	CB 25 -15%	43,67	1,37
28 dias	CB 20 -5%	76,43	2,39
	CB 20 -10%	65,06	2,04
	CB 20 -15%	56,07	1,75
28 dias	CB 25 -5%	80,17	2,51
	CB 25 -10%	71,77	2,25
	CB 25 -15%	60,72	1,90

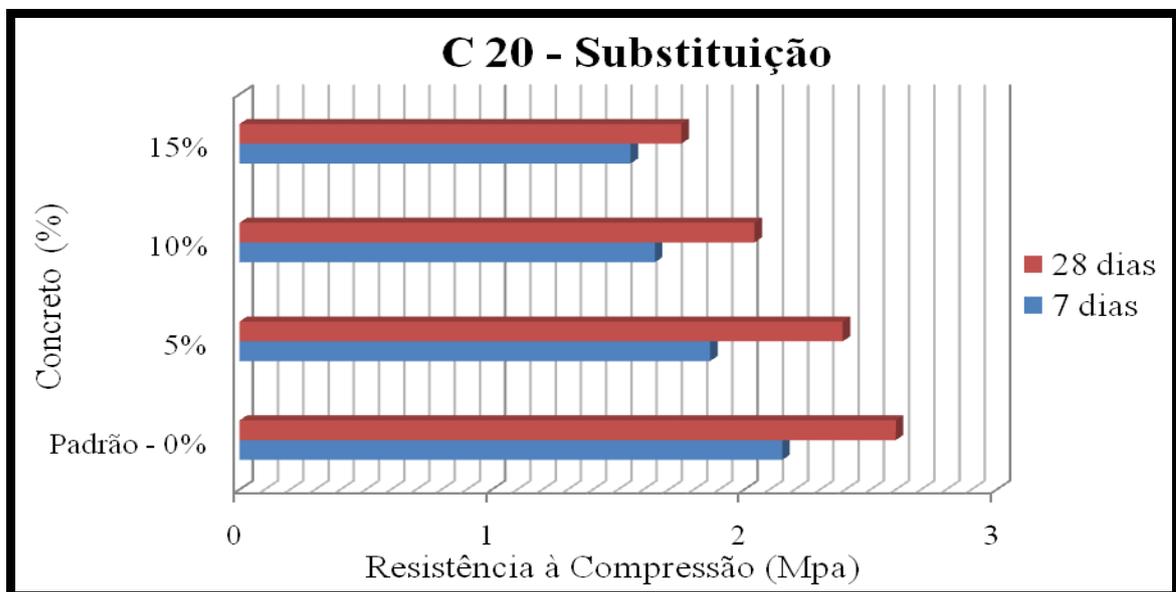


Figura 34: Resistência à Tração por compressão diametral, C20 com substituição por borracha

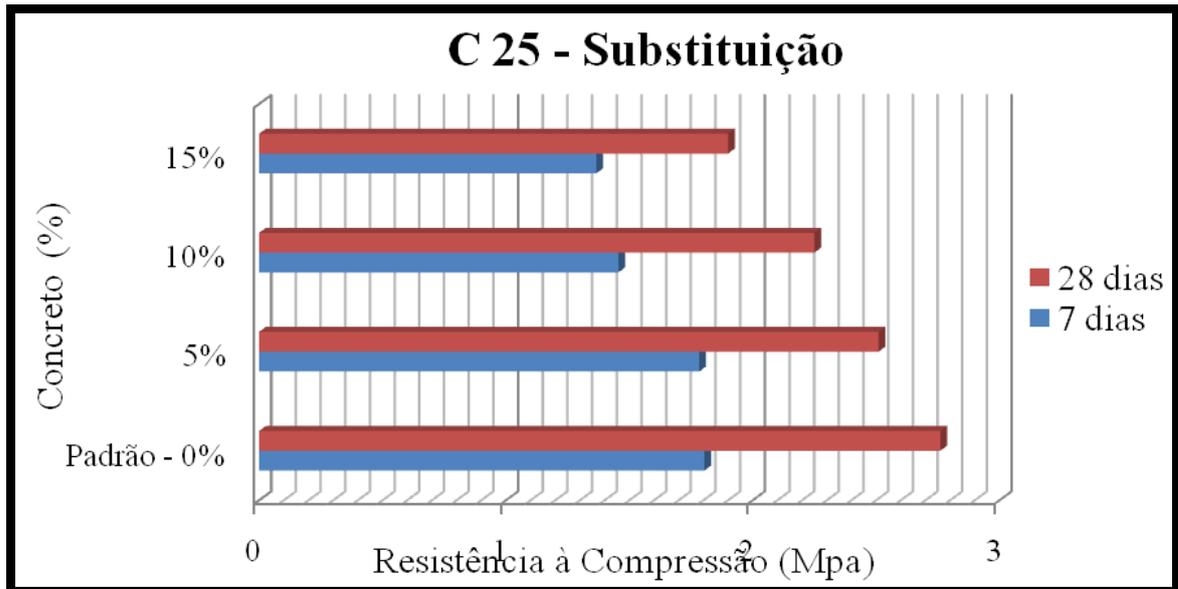


Figura 35: Resistência à Tração por compressão diametral, C25 com substituição por borracha

7.2.2.3 Aspecto Visual das Amostras

Com o objetivo de se verificar a distribuição da borracha no concreto e possíveis ocorrências de segregação, após a realização dos ensaios de tração diametral foram retiradas amostras de corpos de prova para a verificação visual dos aspectos internos das amostras dos concretos de classe C20 e C25 com teores de 0, 5, 10 e 15%, conforme ilustrado na Figura 36 e

Figura 37.



Figura 36: Aspecto interno dos corpos de prova C20



Figura 37: Aspecto interno dos corpos de prova C25

Constatou-se visualmente que as borrachas estavam distribuídas de forma homogênea na seção do corpo de prova de concreto, ou seja, sem ocorrência de segregação da borracha, comportamento também observado por Albano *et al.* (2005) em sua pesquisa.

8 DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentadas as caracterizações dos materiais utilizados bem como os resultados dos ensaios apresentados no concreto em estado fresco e endurecido de acordo com a metodologia de trabalho sendo discutidos os resultados apresentados.

De acordo com Apêndice D pode-se constatar que os valores apresentados neste estudo para os testes de resistência mecânica encontram-se dentro da margem estatística de confiabilidade apresentando coeficiente de variação inferior a 20%.

8.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Neste item são apresentados os resultados da caracterização das matérias-primas utilizadas na fabricação dos traços de concretos estudados.

8.1.1 Agregados naturais

Os resultados da caracterização física dos agregados bem como a curva granulométrica média estão dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR.

8.1.2 Agregados reciclado (borracha de pneu)

Vale ressaltar primeiramente que a composição da borracha de pneus depende do fabricante e do tipo de pneu.

A curva granulométrica apresentada pela borracha se diferencia da apresentada pela areia natural utilizada no preparo do concreto, como ilustrado na Figura 38. Observando sua granulometria, a borracha utilizada pode ser classificada como agregado miúdo, pois sua curva granulométrica encontra-se próximas dos limites impostos pela ABNT NBR 7211/2005 e dentro da caracterização apresentada pela ABNT NBR 5734 que determina como agregado miúdo o material que durante o peneiramento esteja com 95% do seu teor passante pela peneira de abertura 4,8mm.

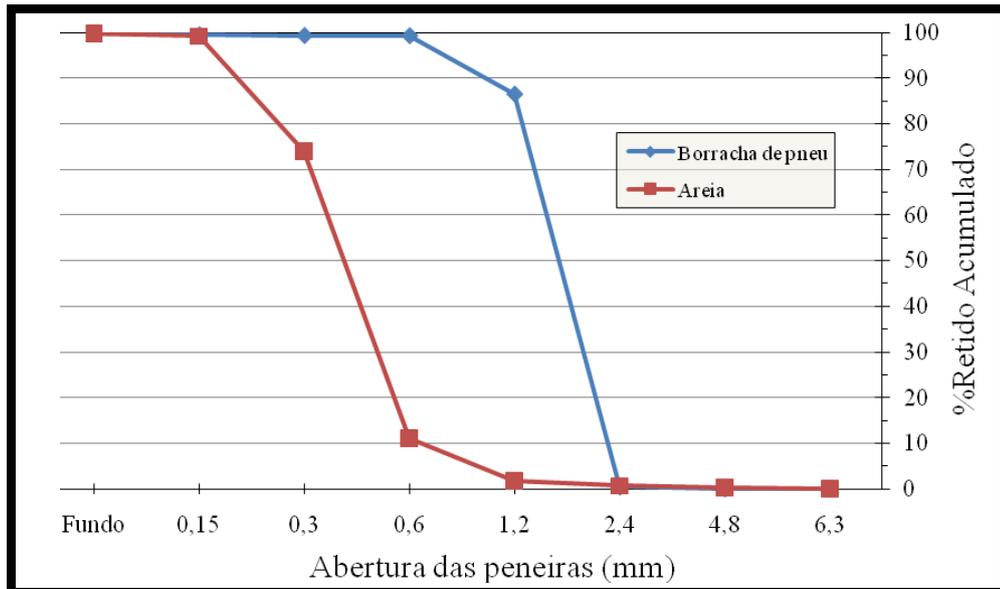


Figura 38: Curva granulométrica dos agregado miúdos

A borracha coletado para o estudo era constituído por diversos tipos de partículas com diferentes formatos e tamanhos. Seu maior percentual ficou retido na peneira de abertura 1,2 mm e sua forma predominante em forma de grãos com algumas partículas apresentadas em forma de pequenas fibras.

Os resíduos retidos no fundo não foram descartados para incorporação da borracha no concreto, essa decisão foi tomada justamente para facilitar o processo na obra.

De acordo com Nunes e Agopyan (1998) as fibras atuam como ponte de transferência de tensões pelas fissuras. Após a ruptura da matriz de concreto as fibras passam por um processo de arrancamento que demanda uma quantidade extra de energia para deformação e ruptura do compósito, proporcionando uma maior tenacidade.

8.2 RESULTADO DOS ENSAIOS

8.2.1 Propriedades do concreto no estado fresco

As propriedades consideradas no estado fresco do concreto foram trabalhabilidade e massa específica aparente.

De acordo com Coutinho (1999) a trabalhabilidade do concreto é afetada pelas propriedades dos agregados, as principais propriedades relacionadas com os agregados são as reológicas (propriedades relacionadas à forma e à granulometria das partículas de agregado) e o consumo

de água necessária para atingir determinada trabalhabilidade (propriedade relacionada à forma, textura e absorção do agregado).

A trabalhabilidade do traço padrão atingiu a meta determinada como base para o estudo estando entre 5 e 7cm como inicialmente fixado, porém a incorporação do agregado de borracha diminuiu a trabalhabilidade do concreto na maioria dos casos, necessitando da incorporação de diferente percentual de água no processo de amassamento para que o material fica-se o mesmo do apresentado pelo compósito padrão, sendo 6,5cm o estipulado.

Para o concreto de classe C20 ao adicionar borracha à quantidade de água necessária para o amassamento reduziu. O que não foi observado no concreto de Classe C25, como pode ser observado na Figura 39, que ao ser incorporado borracha ao processo apresentou inicialmente uma massa mais seca e com baixa trabalhabilidade necessitando aumentar o fator a/c.

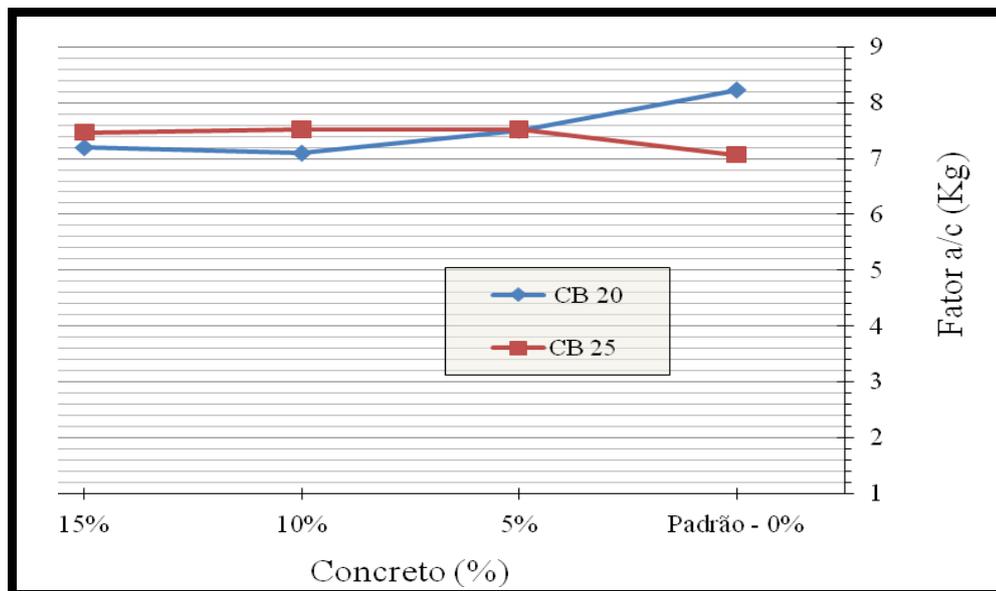


Figura 39: Curva comparativa do consumo de água

Os traços contendo 5 e 10% de resíduo de borracha em substituição ao agregado miúdo natural (areia), apresentaram a melhor coesão entre os traços estudados

A perda de trabalhabilidade pode ser explicada pela maior área superficial apresentada pelo agregado de borracha em relação à areia substituída. Para manter a trabalhabilidade da mistura foi necessário como anteriormente citado, aumentar a relação a/c. O mesmo poderia ser feito com a adição de algum aditivo.

Metha e Monterio (1994) relatam que a forma e a textura das partículas dos agregados pode afetar a trabalhabilidade da mistura. Se analisarmos que o resíduo de borracha apresentava na

sua grande maioria formato granular desuniformes e uma pequena parte da borracha utilizada tinha a forma de fibras, devido ao qual diminuiu a trabalhabilidade do concreto por dificultar o empacotamento das partículas.

De acordo com Metha e Monterio (1994) a trabalhabilidade está relacionada a fatores internos e externos ao concreto fresco, sendo a consistência um fator importante, mas não preponderante: concretos de diferentes consistências podem ser considerados satisfatórios dependendo das condições de obra e adensamento desejados.

Outro fator verificado no concreto em estado fresco é a massa específica.

A massa específica é uma propriedade importante para a aplicabilidade do concreto, é afetada pela qualidade e composição dos agregados. Quanto mais pesado o agregado maior será a massa específica do concreto. A incorporação de ar à mistura de concreto afeta a sua massa específica, quanto maior o teor de ar incorporado menor será a massa específica.

De acordo com os resultados da massa específica da primeira fase (substituição parcial do agregado miúdo natural por borracha) apresentou valores diferenciados para as duas classes estudadas. Houve uma diminuição na massa específica do concreto com a adição da borracha em substituição à areia para os percentuais de 5 e 15%, e um aumento da massa específica para a adição de 10% conforme observado na Figura 40.

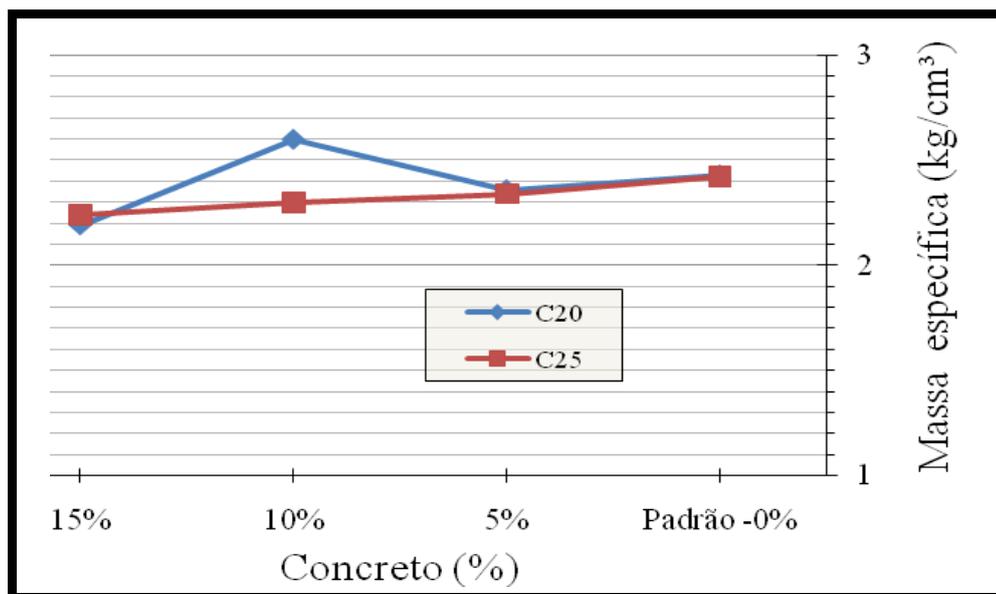


Figura 40: Curva da massa dos concretos

No geral, com a incorporação de borracha existe uma tendência de diminuição da massa específica. Este fato é atribuído à menor densidade da borracha em relação à densidade da areia.

O fato ocorrido com o percentual de 10% em substituição parcial a areia pode estar relacionado a problemas na realização do ensaio para a determinação da massa específica, sendo considerado como erro estatístico (< 3%).

De acordo com Andriolo e Scandiuzzi (1986 apud FREITAS, 2007) a dificuldade de adensamento do concreto também afeta a massa específica, pois concretos mal adensados possuem vazios internos que diminuem a massa específica. Como a trabalhabilidade do concreto diminui devido à adição das fibras de borracha é provável que o adensamento tenha perdido qualidade com a incorporação de borracha.

Outro fator observado durante preparo dos materiais estudados, é que o consumo dos agregados naturais, grão e miúdo, também diminui com a incorporação da borracha, pois o volume ocupado pelo resíduo de borracha é maior que o volume ocupado pela areia natural. Desta forma mesmo mantendo na dosagem os percentuais do concreto padrão para os agregados naturais, observaram-se sobras maiores do material dosado conforme foi adicionado os diferentes percentuais de borracha.

Um comparativo entre os concretos padrões e os concretos com a incorporação da borracha de pneu em substituição parcial da areia pode ser verificada as variações no consumo de cimento como pode ser observado na Tabela 30.

Tabela 30: Consumo de cimento

<i>TIPO DE CONCRETO</i>		<i>CONSUMO CIMENTO (Kg/m³)</i>
CB 20	Padrão	373,1
	5 %	360
	10 %	347
	15 %	331
CB 25	Padrão	386
	5 %	360
	10 %	343
	15 %	330

Ao analisar o consumo de cimento apresentado durante a substituição dos diferentes percentuais de areia por borracha de pneu, verificou-se que a redução para a classe de concreto C20 foi em média de 14Kg/m^3 entre os percentuais. E para a classe do concreto C25 foi de $18,6\text{ Kg/m}^3$ entre os percentuais estudados.

8.2.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

8.2.2.1 Resistência à compressão

Com a adição de partículas de borracha ao concreto a resistência à compressão tendeu a diminuir, este efeito pode ser verificado em outros trabalhos encontrados na literatura, que citam a perda de resistência devido à adição de borracha.

A resistência à compressão foi medida nas idades de 7, 28 dias apresentando perdas consideráveis em alguns momentos conforme pode ser observado na Figura 41 e Figura 42 que apresentam a evolução da resistência à compressão nos corpos de prova.

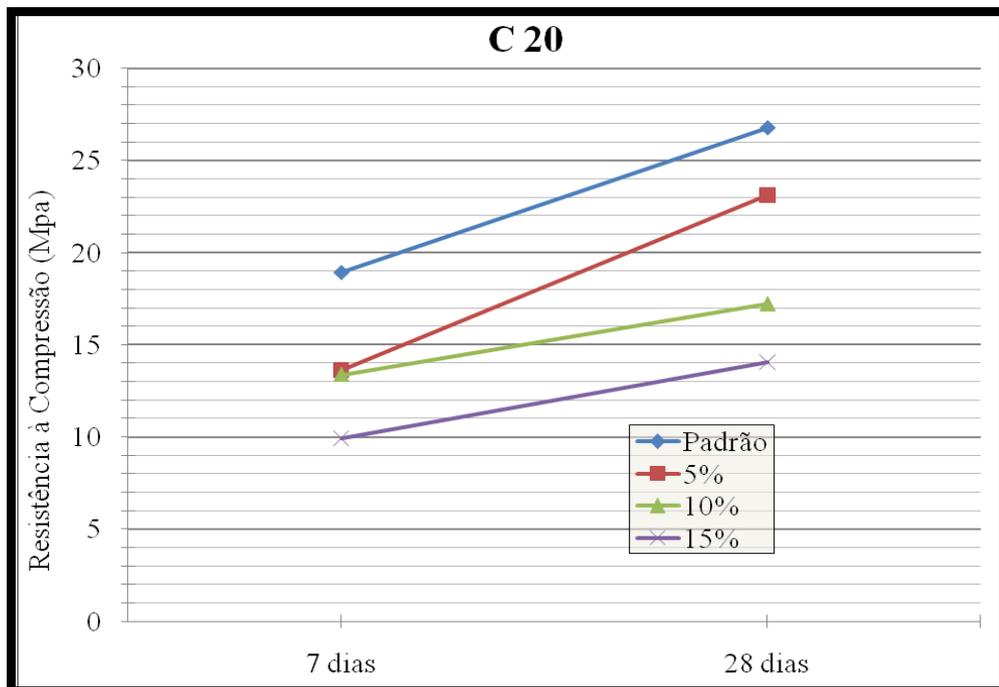


Figura 41: Resistência à Compressão C20 com substituição de areia

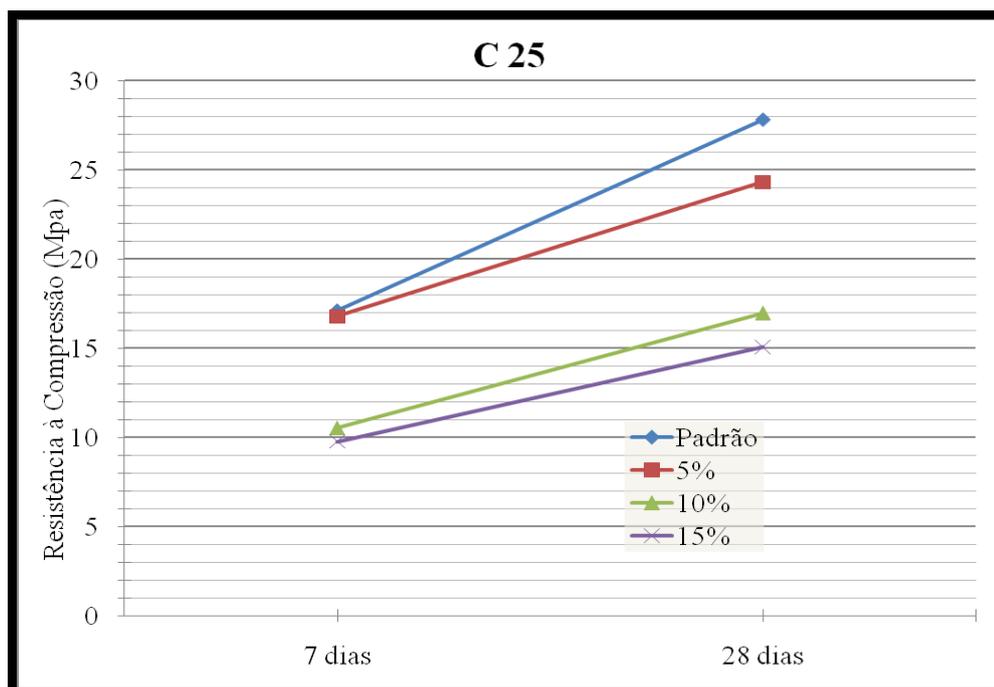


Figura 42: Resistência à Compressão C25 com substituição de areia

Para os CB's de Classe 20 os compósitos formado com a substituição de 5 e 10% de areia por borracha, o concreto apresentou perda significativamente baixa já para a substituição de 15% a perda apresentada foi maior quando comparado ao compósito padrão de mesma classe conforme pode ser observado na Tabela 31.

Tabela 31: Resistência à Compressão C20 com substituição

<i>CONCRETO</i>	<i>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)</i>			
	<i>7 DIAS</i>	<i>PERDAS</i>	<i>28 DIAS</i>	<i>PERDAS</i>
Padrão	18,93	-	26,77	-
5%	13,63	28%	23,10	13,71%
10%	13,38	29,3%	17,22	35,67%
15%	9,92	47,6%	14,04	47,55%

Ao analisarmos os CB's de Classe C25 os valores apresentados pelo compósitos de concreto com substituição parcial do agregado miúdo natural (areia) por resíduo de borracha verificou-se que as perdas foram menores se comparados a Classe C20. Sendo significativamente baixas para o teor de 5% como podem ser observados na Tabela 32.

Tabela 32: Resistência à Compressão C25 com substituição

CONCRETO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
	7 DIAS	PERDAS	28 DIAS	PERDAS
Padrão	17,09	-	27,80	-
5%	16,78	1,8%	24,30	12,59%
10%	10,53	38,4%	16,96	38,99%
15%	9,78	42,8%	15,06	45,83%

A perda de resistência verificada com a incorporação da borracha de pneu pode ser atribuída além do módulo de deformação elástica, à má aderência entre a pasta de cimento e a borracha.

De acordo com Segre (1999), tratamentos superficiais da borracha não afetam significativamente a resistência à compressão do material.

Segre (1999) relata em sua pesquisa que a relação água/cimento influencia diretamente a resistência dos materiais a base de cimento. Com o aumento do teor de água, observa-se o enfraquecimento progressivo da matriz devido ao aumento da porosidade.

Segundo Freitas (2007) a borracha tem maior capacidade de deformação, sua capacidade de resistir aos esforços aplicados fica limitada pela rigidez da matriz de concreto. As partículas de borracha funcionam, na verdade, como vazios no interior da massa de concreto.

O formato da borracha utilizada na pesquisa interferiu nos resultados da resistência à compressão. Os concretos com maiores quantidade de adição de fibras do elastômeros geralmente apresentam melhores desempenhos mecânicos do que os concretos com adição de grânulos.

Lopes *et al.* (2005) encontraram uma perda de 44% na resistência à compressão com a adição de 5% de massa de borracha na forma de grãos, perda maior que a encontrada no estudo realizado por Freitas (2007) que utilizou maior número de borracha em forma de fibras, obtendo assim perda de 21,7%. Isto reforça a hipótese de que a adição de fibras acarreta menor prejuízo à resistência mecânica do concreto do que a adição de grãos.

A perda de resistência à compressão pode estar relacionada, também, a outros fatores como o teor de ar aprisionado, o processo de cura do concreto, entre outros.

8.2.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral estão mostrados na Figura 43 e Figura 44.

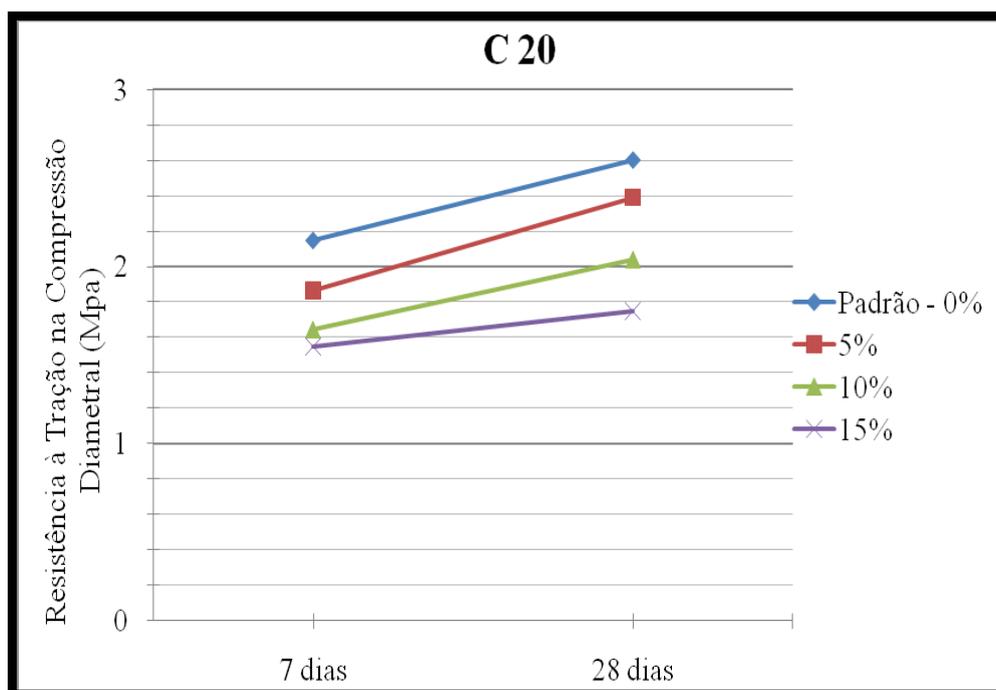


Figura 43: Evolução da Resistência à tração C20 com substituição de areia

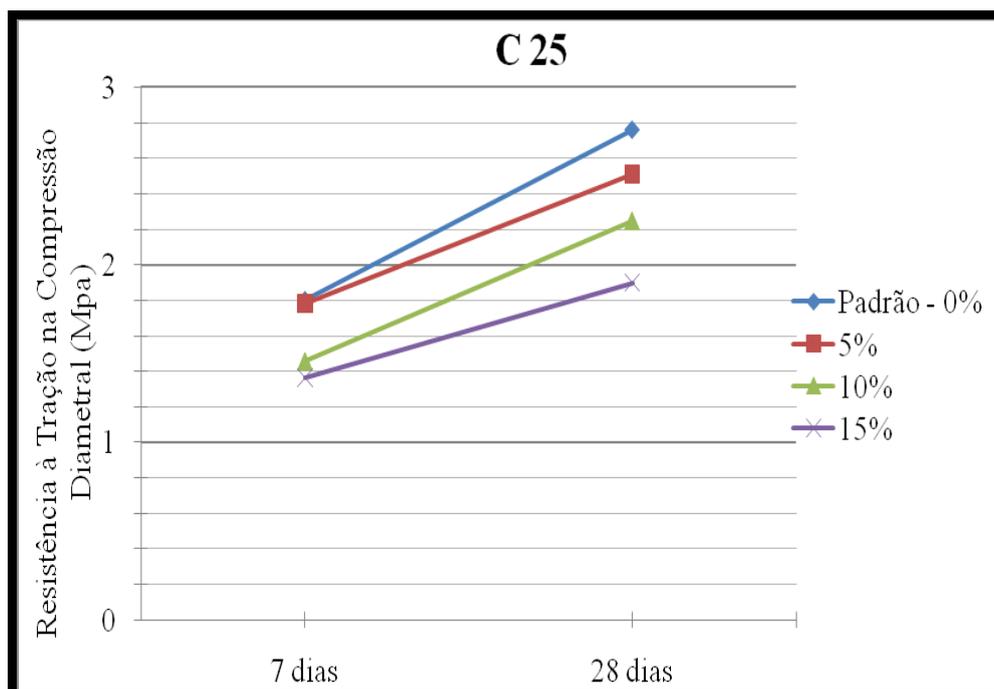


Figura 44: Evolução da Resistência à Tração C25 com substituição de areia

Para os concretos com substituição parcial de areia por borracha, na classe C20 do concreto, as perdas de resistência à tração por compressão diametral, em relação ao concreto padrão, foram respectivamente baixas apresentando percentual elevado para o teor de 15% de borracha incorporada. Ao analisar todos os percentuais, nota-se que a menor perda na resistência à tração inicial é apresentada pelo menor percentual de substituição, 5%, conforme pode ser observado no Tabela 33.

Tabela 33: Resistência à Compressão C20 com substituição

CONCRETO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
	7 DIAS	PERDAS	28 DIAS	PERDAS
Padrão	2,15	-	2,60	-
5%	1,86	13,3%	2,39	8,08%
10%	1,65	23,5%	2,04	21,54%
15%	1,55	27,9%	1,75	32,69%

Ao analisar os CB's de Classe C25 os valores apresentados pelo compósitos de concreto com substituição parcial de areia por borracha de pneu, verificou-se que as perdas chegaram a valores menores que as apresentadas pelo concreto de Classe C20. Obtendo um bom percentual para o teor de 5%. Para o percentual de 10% a resistência ao passar dos dias como

podem ser observados no Tabela 34 teve uma redução chegando a valores próximos ao teor de 5%.

Tabela 34: Resistência à Compressão C25 com substituição

CONCRETO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
	7 DIAS	PERDAS	28 DIAS	PERDAS
Padrão	1,80	-	2,76	-
5%	1,78	1,2%	2,51	9,06%
10%	1,46	19,3%	2,25	18,48%
15%	1,37	24,3%	1,90	31,16%

Os CP's com substituição parcial de agregado miúdo (areia) por resíduo de borracha apresentaram fissuração reduzida, sendo necessária a aplicação de um esforço extra para dividi-los ao meio na maioria dos corpos-de-prova testados. As fibras de borracha mantiveram as partes unidas e, também, parte da matriz de concreto apresentava-se intacta na grande maioria como pode ser observada na Figura 45.

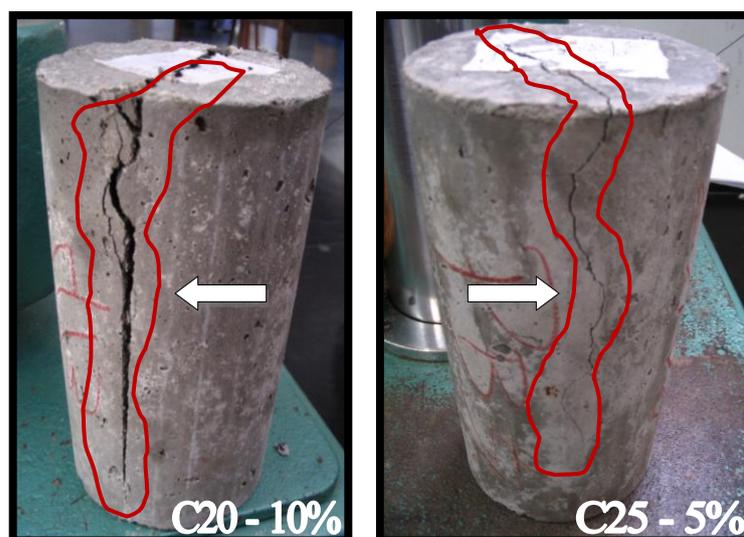


Figura 45: Fissuras devido à resistência aplicada no teste ao CB's

A capacidade de o CB resistir à propagação de fissuras já foi citada anteriormente por outros autores. De acordo com Freitas (2007) essa maior capacidade de deformação é interessante para os materiais de reparo, pois alivia o surgimento de fissuras e melhora a durabilidade do concreto. Esse fato pode ser justificado pelo baixo módulo de elasticidade que permite na maioria das vezes que o material sofra maior deformação antes da ruptura.

8.2.2.3 Resistência à Compressão X Resistência à tração por compressão diametral

A perda de resistência à tração, devido à adição de borracha, é proporcionalmente menor que a perda resistência à compressão. A relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão para os concretos estudados consta no Tabela 35,

Tabela 36.

Tabela 35: Comparação das resistências mecânicas do CB (7 dias)

CONCRETO	RESISTÊNCIAS CLASSE C20 (MPa)			RESISTÊNCIAS CLASSE C25 (MPa)		
	COMPRESSÃO	TRAÇÃO	RELAÇÃO %	COMPRESSÃO	TRAÇÃO	RELAÇÃO %
	7 DIAS			7 DIAS		
Padrão	18,93	2,15	11,4%	17,09	1,80	10,6%
5%	13,63	1,86	13,7%	16,78	1,78	10,6%
10%	13,38	1,65	12,3%	10,53	1,46	13,8%
15%	9,92	1,55	15,6%	9,78	1,37	14%

Tabela 36: Comparação das resistências mecânicas do CB (28 dias)

CONCRETO	RESISTÊNCIAS CLASSE C20 (MPa)			RESISTÊNCIAS CLASSE C25 (MPa)		
	COMPRESSÃO	TRAÇÃO	RELAÇÃO %	COMPRESSÃO	TRAÇÃO	RELAÇÃO %
	28 DIAS			28 DIAS		
Padrão	26,77	2,60	10%	27,80	2,76	9.9%
5%	23,10	2,39	10,3%	24,30	2,51	10,3%
10%	17,22	2,04	11,8%	16,96	2,25	13.3%
15%	14,04	1,75	2.5%	15,06	1,90	12,6%

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A população mundial tem se voltado para os conceitos de sustentabilidade e desta forma vários segmentos ligados à ciência e tecnologia vem buscando alternativas para controlar ou minimizar danos causados pelo consumo indiscriminado de matéria prima e pelo alto volume de resíduos gerados. A reciclagem dos resíduos tem se mostrado uma alternativa viável e a construção civil tem se mostrado um setor promissor para absorção destes novos materiais, sejam eles resíduos de outras indústrias ou o seu próprio resíduo.

Com o intuito de ampliar o conhecimento neste sentido, esta pesquisa avaliou o comportamento de concretos produzidos com diferentes proporções de agregados miúdo de resíduos de borracha de pneu, bem como avaliou algumas propriedades físicas desse agregado reciclado. Foi avaliada a influência de diferentes teores de substituição do agregado miúdo natural por reciclados e a adição do resíduo ao compósito de concreto. Analisando as propriedades do concreto no estado fresco (trabalhabilidade e massa específica aparente) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral).

É importante ressaltar que as conclusões que constam neste trabalho dizem respeito à utilização de materiais com características peculiares da região utilizados na produção de concretos em proporções e técnicas de execução específicas. Deste modo, seria interessante que novas pesquisas, utilizando metodologia semelhante, fossem realizadas no sentido de confirmar e complementar os resultados aqui obtidos.

É necessário ampliar ainda mais o conhecimento sobre o comportamento do resíduo de borracha de pneu para produção de concreto. A falta de uma metodologia padronizada nos estudos já realizados até agora levam a conclusões muito variadas e até divergentes sobre este assunto.

A partir do programa experimental foi possível obter as seguintes conclusões.

- Para a produção do concreto reciclado pode ser seguida a mesma ordem de mistura utilizada para os concretos convencionais;
- Os procedimentos de adensamento e cura de concretos reciclados é semelhante aos dos concretos convencionais;
- A alta porosidade do agregado reciclado pode ser considerada

como fator preponderante para a diminuição da massa específica dos concretos reciclados mais visível nos testes realizados com concretos de classe C25;

- Observou-se que a perda de abatimento possui uma estreita relação com o fator a/c ;
- Quando se utiliza agregado reciclado nas misturas de concreto, a relação a/c e o teor de agregado graúdo reciclado são os fatores de maior influência na determinação da resistência, ou seja, a porosidade da matriz, determinada pela relação a/c , e a porosidade do agregado são fatores de fundamental importância na resistência final dos concretos;
- A redução do consumo do cimento esta diretamente ligada ao aumento de ar aprisionado a massa e decorrente da massa específica referente às parcelas de agregados de composição de cada concreto ensaiado.

De forma geral conclui-se que o uso de agregados reciclados é perfeitamente viável para produção de concretos, pelo menos do ponto de vista das propriedades mecânicas avaliadas. Para produção de concretos com altas relações a/c , o uso das duas classes de agregados reciclados estudadas é bastante satisfatório principalmente nos teores de 5 a 10% de adição de borracha de pneu em substituição a areia e seguindo as características dos materiais estudados, devendo ser observados apenas cuidados com a trabalhabilidade.

Apesar do bom comportamento apresentado pelos concretos reciclados nas propriedades mecânicas avaliadas, outros estudos devem ser realizados com o objetivo de confirmar os resultados aqui apresentados. Além disso, devem ser consideradas outras propriedades mecânicas como retração e durabilidade das misturas de concreto.

De forma geral, pode-se concluir que o material estudado apresentou quedas devido a dois fatores principais, a incorporação da borracha e também pela queda do consumo de cimento. Além disso, outro fator que interfere nos resultados é o ar incorporado a massa fator este

relacionado à incorporação da borracha. Com este fator pode-se constatar que a borracha de pneu trata-se de um material considerável para a produção de pavers. Mas outros fatores devem ser estudados.

Com base nos testes realizados pode-se considerar que os resultados obtidos apresentam qualidades interessantes para sua utilização como material para a fabricação de calçadas, meio-fio, piso de ciclovias, até em muros e peças pré-fabricadas. No entanto, recomenda-se a realização de estudos de campo com este compósito para verificar seu comportamento quando exposto às intempéries.

O produto desenvolvido segundo alguns autores pode chegar a se tornar mais caro que o convencional, mas relacionado à idéia de sustentabilidade, o ganho vem com o tempo. O correto é pensar na relação custo-benefício, devido ao ganho ambiental que a cidade e a população terão ao longo dos anos.

10 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como numa única pesquisa nem sempre é possível vencer todas as possibilidades de estudo sobre os mais variados assuntos, principalmente quando se trata de um novo material, existem muitos trabalhos que podem ser desenvolvidos, no sentido de contribuir para aumentar o conhecimento sobre o assunto tratado nesta pesquisa. Como por exemplo:

- Realizar estudos mais aprofundados da perda de trabalhabilidade em concretos com substituição total e parcial dos agregados naturais por resíduos de borracha de pneu;
- Realizar um estudo econômico do uso de agregado reciclado de resíduo de pneu, avaliando custos com gerenciamento do resíduo, implantação de programas de reciclagem e produção de concretos e argamassas com uso de resíduo de pneu;
- Realizar um estudo do estado de propagação de fissuras de concreto reciclado de resíduos de borracha de pneu;
- Estudar o efeito da forma fibrilar do resíduo de pneu nas propriedades mecânicas dos concretos reciclados;
- Realizar um estudo da influência dos vários tipos de impureza, que podem estar presentes no material reciclado, sobre as propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos reciclados, apresentando tratamentos para os mesmos;
- Realizar ensaios quanto à durabilidade do concreto com resíduos de borracha, ensaios de variação de temperatura, isolamento térmico e acústico;
- Avaliar o efeito da retração do concreto por meio da adição de borracha.

11 REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. <www.abcp.org.br>. Acesso em: 16 março 2009.

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

ALI N. A., AMOS A. D; ROBERTS M. “ **Use of Ground Rubber Tyres in Portland Cement Concrete**”; Concrete 2000 – Economic and Durable Construction thorough Excellence, Proceedings of the International Conference, University of Dundee, Scotland, UK, 7-9 September, 1993, Vol 2, 379-390.

AMBIENTE BRASIL. **Boletim Informativo da Bolsa de Reciclagem**. São Paulo, 2001. Boletim Sistema FIEP: Ano I, N. 3, jul./ago. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&conteudo=./residuos/reciclagem/pneus.html>>. Acesso em: 16 março 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **Agregado para concreto – Especificação: NBR 7211**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-deprova cilíndricos**; procedimento – NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **Cimento Portland pozolânico: NBR 5736**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos**; procedimento – NBR 5738. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Concreto. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, NBR 5739. Rio de Janeiro.1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone**. NBR 7223. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Concreto-Determinação do Módulo de Deformação Estatística e Diagrama Tensão-Deformação**. NBR 8522. Especificação. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos**. NBR 10004. Rio de Janeiro: 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Cimento Portland composto**. NBR 11578. Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Preparação de concreto em laboratório**; especificação – NBR 12821. Rio de Janeiro, 1993.

_____ NBR NM 52 (2003) Agregado miúdo - **Determinação de massa específica e massa específica aparente**.

_____ NBR NM 53 (2003) Agregado graúdo – **Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**.

ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE BORRACHA NORTE AMERICANA –RMA. Disponível em: <www.rma.org>. Acessado em: 20 de agosto 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. São Paulo. ANIP em números. Disponível em: <www.anip.com.br>. Acesso em: 15 março 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE RECICLAGEM DE PNEUS E ARTEFATOS DE BORRACHAS (AREBOP). **Legislação**. Disponível em: <<http://www.arebop.org.br/leis.asp>>. Acesso em: 28 maio 2009.

BAUER R.J.F.; TOKUDOME S.; GADRETA. D. “**Estudo de concreto com pneu moído**”, 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu, 2001.

BADALOTTI, M.S. **Avaliação da resistência mecânica de concretos moldados com agregados reciclados**. Monografia de Bacharel. Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

BRASIL, Constituição, 1998. **Constituição da República Federativa do Brasil**: Texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1998, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nº 1/92 a 31/2000 e pelas Emendas Constitucionais de Revisão nº 1

a 64/94 - Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 407 p. CDDIR 341.2481. ISBN - 85-7018-204-X. 2001.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 258/99**, de 26 de agosto de 1999 - In: Resoluções, 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acessado em: 10 abril. 2009.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 301**, de 21 de março de 2002 - In: Resoluções 2003. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>Acessado em: 10 abril. 2009.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA. **Instrução Normativa nº 8**, de 15 de maio de 2002, DOU nº 95, seção 1, de 20 de maio de 2002, Brasília/DF. In: Base de Dados de Informações Documentárias, 2002. Disponível em: <<http://www2.ibama.gov.br>> Acessado em: 10 abril. 2009.

BRASIL - Ministério da Saúde – MS. Disponível em: <<http://www.saúde.gov.br>>. Brasília, 2002. Acessado em: 28 maio 2009.

CANOVA, J.A. *et al.* **Influencia da adição de pó de borracha em argamassa mista**. In: Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura, 5., 2005, Maringá.

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

CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acessado em: 28 maio 2009.

CIMINO, Marly Alvarez. **Gerenciamento de pneumáticos inservíveis: análise crítica de procedimentos operacionais e tecnologias para minimização adotadas no território nacional**. 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos (SP). Disponível em:http://www.bdt.d.ufscar.br/tde_arquivos/11/TDE-2004-11-24T14:36:19Z-247/Publico/DissMAC.pdf. Acesso em: 29 maio 2009.

CIMINO, Marly Alvarez, ZANTA, Viviana Maria. **Gerenciamento de pneumáticos inservíveis (GPI): análise crítica de ações institucionais e tecnologias para minimização**. Artigo Técnico – Engenharia Sanitária Ambiental 2005, vol.10, n.4.

COUTINHO, J S. **Agregados para Argamassas e Betões**. Materiais de Construção 1, Lisboa-Portugal, 1999.

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

ELDIN N.N. E. SENOUCI A .B.. **“Rubber – Tire Particles as concrete Aggregate”**. Journal of Materials in Civil Engineering, 1993, 5(4), 478-496.

FRANÇA, V. H.; BARBOSA, M. P.; AKASAKI, J. L.; SALLES, F. M. **Analysis of the Adherence Steel-concrete With Incorporation of Residues of Tires**. 2005. Disponível em: www.infohab.org.br. Acesso em: 29 maio 2009.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2007. 137f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. Orientador: Kleber Franke Portella.

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

FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L.; NIRSCHL, G. C. **Estudo da viabilidade de produção de blocos estruturais de concreto com adição de resíduos de borracha**. In: 44º Congresso Brasileiro de Concreto, 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Arte Interativa, 2002.

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

GÜNEYISI, E.; GESOĞLU, M.; ÖZTURAN, T. **Properties of rubberized concretes containing silica fume**. Cement and Concrete Research, v.34, p. 2309–2317, 2004.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Ed. Pini; Brasília, DF: SENAI, 2001.

HUYNH, H.; RAGHAVAN, D. **Durability of Simulated Shredded Rubber Tire in Highly Alkaline Environments**. Advn Cem Bas Mat, v.6 p.138-143, 1997.

JOHN, V. M. **O Meio Ambiente e a Reciclagem**. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/apres1.htm> > - Acesso em: 29 maio 2009.

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

LEE B.I., BURNETT L., MILLER T., POSTAGE B. E CUNEO J.. **“Tyre Rubber/Cement Matrix Composites”**. Journal of Materials Science Letters, 1993, 12(13), 967-968.

LEITE, Ana Lúcia T. A. e MEDINA, Naná M. **Educação ambiental: curso básico a distância: questões ambientais: conceitos, história, problemas e alternativas**. Brasília: MMA, 2001. 5v. 2ª Edição aplicada.

LEVY, S. M; HELENE, P. R. L. **Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção**. São Paulo, EPUSP, 2002.

LI, Z. LI, F., LI, J. S. L.; **“Properties of Concrete Incorporating Rubber Tyre Particles”**; Magazine of Concrete Research, 1998, 50 (4), 297-304.

LOPES, M. D.; MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L. **Estudode Dosagens para Obter Concretos com Resíduos de Borracha de Pneu**. In: 47º.Congresso Brasileiro do Concreto. Recife/PE, 2005.

MARQUES, A. C. **Estudo da influência da adição de borracha vulcanizada em concreto à temperatura ambiente e elevada temperatura**. Dissertação de mestrado (Vinculada ao programa de pós-graduação em engenharia civil da UNESP). Ilha solteira/SP, 114p, 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: 47º Congresso Brasileiro de Concreto, Recife/PE, 2005.

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

MARTINS, I. R. F. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu**. Dissertação de mestrado (vinculada ao programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Estadual Paulista), Ilha solteira/SP, 2005.

METHA, K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto, Estrutura, Propriedades e Materiais**. Pini. 1a Ed., 1994, 616 páginas.

MOSCA, A. M. A.; LINTZ, R. C. C.; CARNIO, M. A **Influência da Utilização da Borracha Vulcanizada nas Propriedades Mecânicas do Concreto**. 47º Congresso Brasileiro de Concreto. Recife/PE, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 1923. Tradução Eng. Salvador E. Giammusso. 2a Ed. ver. Atual. São Paulo: Pini, 1997.

NIRSCHL, G. C.; AKASAKI, J. L., FIORITI, C. F. **Influência da granulometria das fibras de borracha vulcanizada em dosagens de Concreto**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 44º, 2002

NUNES, N. L.; AGOPYAN, V. **A influencia do Fator de Forma da Fibra na Tenacidade à Flexão do Concreto Reforçado com Fibras de Aço**. São Paulo/SP, EPUSP, 18 p – (boletim técnico da escola politécnica da USP, Departamento de engenharia de construção civil), 1998.

PETROCCI, E.G.R., **Concreto de Cimento Portland** – 6.ed. atualizada e ver./por Vladimir Antonio Paulon. – Porto Alegre: Globo, 1979.

PINHEIRO, L.M, MUZARDO, C.D, SANTOS, S.P. **Estruturas de concreto – Capítulo 2**. Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo-EESC/USP, São Carlos, 2004.

RAGHAVAN, D.; HUYNH, H. **Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tyre rubber-filled cementitious composite**. J. Mater. Sci., Dordrecht, v. 33, p. 1745-1752, 1998.

RAGHAVAN, D., HUYNH H. e FERRARIS, C.F.; “**Workability, Mechanical Properties and Chemical Stability of a recycled Tyre Rubber-Filled Cementitious Composite**”; Journal of Materials Science, 1998, 33, 1745-1752. SANTOS, A.C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. Maceió, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, 2005.

RECIBRAS – Dj.Laminação de Pneus Ltda. Disponível em: <http://www.recibras.ind.br/novo/portugues/produtos.asp>, Acesso em: 20 janeiro 2010.

ROSA, D.S.; MORENO A.L. Jr; MARTINS T.C. **Avaliação da granulométrica na incorporação de pneus pós-consumo em compósitos de concreto.** Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 26, n. 2, 103-110, 2007.

ROSTAMI, H.; LEPORE, J.; SILVESTIM, T.; ZANDI, I., **Use of Recycled Rubber Tires in Concrete.** In: Proc. Int. Conf. Concrete 2000: Economic and Durable Construction through Excellence University of Dundee, UK, 1993.

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

SEMA-PR: Secretaria de Estados do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.sema.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=829>>. Acessado em: 27 maio 2009.

SEGRE, Nádía C. **Reutilização de borracha de pneus com a adição em pasta de cimento.** Campinas, 1999. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

SEGRE, N.; JOEKES, I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste. **Cement and Concrete Research**, v. 30, p.1421-1425, 2000.

SMITH, F. G. ; DANIELS, E. J. ; TEOTIA, A. P. S. ; **Testing and evaluating commercial applications of new surface-treated rubber technology utilizing waste tires;** 1995, vol. 15, n°2, pp. 133-144.

SPECHT, L.P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de Pneus.** Porto Alegre, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

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

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

TOPÇU, I. B. **Assesment of the britleness index of rubberized concretes.** Cement and Concrete Research, vol 27, n° 2, pp. 177-183, 1997.

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

TURATSINZE, A. *et al.* **Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres**. *Build. Environ.*, New York, v. 40, p. 221-226, 2005.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, J. L. **Mechanical characterization of cementbased mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres**. *Building and Environment*, 40, pp. 221-226, 2005.

VOTORANTIM CIMENTOS. Apresenta informações sobre a empresa. Disponível em: <www.votorantim-cimentos.com.br/relatório.html>. Acesso em: 20 janeiro 2010.

APÊNDICE A. RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS

MATERIAL	DIMENSÃO DO CP's (cm)	QUANTIDADE DE CP's (material/idade)		TIPO DE ENSAIO	NORMA		
		IDADE DE RUPTURA 7 DIAS	IDADE DE RUPTURA 28 DIAS				
Concreto Classe 20	Padrão	10x20	1		Ensaio de Abatimento	NBR-10342	
	Substituições:		5% borracha	3	6	Resistência à Tração Diametral	NBR-7222
			10% borracha	3	6	Resistência à Compressão	NBR-5739
			15% borracha				
Concreto Classe 25	Padrão	10x20	1		Ensaio de Abatimento	NBR-10342	
	Substituições:		5% borracha	3	6	Resistência à Tração Diametral	NBR-7222
			10% borracha	3	6	Resistência à Compressão	NBR-5739
			15% borracha				

Tabela 37: Resistência à compressão dos CP's de CB's

***APÊNDICE B. DETERMINAÇÃO DA GRANULOMÉTRICA DOS
AGREGADOS***

Tabela 38: Ensaio granulométrico da areia

<i>PENEIRA (mm)</i>	<i>ENSAIO 1</i>			<i>ENSAIO 2</i>			<i>VALOR MÉDIO DA % DO MATERIAL RETIDO E ACUMULADO (%)</i>
	<i>MASSA DE MATERIAL RETIDO (g)</i>	<i>RETIDO (%)</i>	<i>RETIDO E ACUMULADO (%)</i>	<i>MASSA DE MATERIAL RETIDO (g)</i>	<i>RETIDO (%)</i>	<i>RETIDO E ACUMULADO (%)</i>	
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,8	1,38	0,28	0,28	1,66	0,33	0,33	0,30
2,4	1,41	0,28	0,56	2,12	0,42	0,76	0,66
1,2	5,01	1,00	1,56	5,25	1,05	1,81	1,68
0,6	46,9	9,38	10,94	47,08	9,42	11,22	11,08
0,3	310,98	62,20	73,14	318,22	63,64	74,87	74,00
0,15	130,26	26,05	99,19	122,01	24,40	99,27	99,23
Fundo	3,12	0,62	99,81	3,24	0,65	99,92	99,86
Total:	499,06g			499,58g			Módulo de finura: 2,87%
Massa inicial das amostras:	500g						
Diâmetro máximo:	1,2 mm						

Tabela 39: Ensaio granulométrico da borracha de pneu

<i>PENEIRA (mm)</i>	<i>ENSAIO 1</i>			<i>ENSAIO 2</i>			<i>VALOR MÉDIO DA % DO MATERIAL RETIDO E ACUMULADO (%)</i>
	<i>MASSA DE MATERIAL RETIDO (g)</i>	<i>RETIDO (%)</i>	<i>RETIDO E ACUMULADO (%)</i>	<i>MASSA DE MATERIAL RETIDO (g)</i>	<i>RETIDO (%)</i>	<i>RETIDO E ACUMULADO (%)</i>	
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,4	1,45	0,29	0,29	2,80	0,56	0,56	0,43
1,2	446,11	89,22	89,51	414,97	83,09	83,65	86,58
0,6	49,04	9,81	99,32	78,88	15,79	99,45	99,38
0,3	0,26	0,05	99,37	0,23	0,05	99,50	99,43
0,15	0,92	0,18	99,56	0,75	0,15	99,65	99,60
Fundo	1,30	0,26	99,82	1,77	0,35	100	99,91
Total:	499,08g			499,40g			Módulo de finura: 3,85%
Massa inicial das amostras:	500g						
Diâmetro máximo:	1,2 mm						

Tabela 40: Ensaio granulométrico da brita

<i>PENEIRA (mm)</i>	<i>ENSAIO 1</i>			<i>ENSAIO 2</i>			<i>VALOR MÉDIO DA % DO MATERIAL RETIDO E ACUMULADO (%)</i>
	<i>MASSA DE MATERIAL RETIDO (g)</i>	<i>RETIDO (%)</i>	<i>RETIDO E ACUMULADO (%)</i>	<i>MASSA DE MATERIAL RETIDO (g)</i>	<i>RETIDO (%)</i>	<i>RETIDO E ACUMULADO (%)</i>	
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	18,15	0,73	0,73	22,09	0,90	0,90	0,81
12,7	2.381	95,24	95,97	2.228	90,36	91,25	93,61
9,5	78,77	3,15	99,12	180,96	7,34	98,59	98,85
6,3	7,19	0,29	99,40	23,21	0,94	99,53	99,47
4,8	1,26	0,05	99,45	3,44	0,14	99,67	99,56
2,4	1,23	0,05	99,50	2,32	0,09	99,77	99,64
1,2	0,71	0,03	99,53	0,90	0,04	99,80	99,67
0,6	0,60	0,02	99,56	0,78	0,03	99,84	99,70
0,3	0,10	0,00	99,56	0,06	0,00	99,84	99,70
0,15	0,14	0,01	99,57	1,01	0,04	99,88	99,72
Fundo	0,74			2,99			
Total:	2.489,89g			2.465,76g			Módulo de finura: 8,91%
Massa inicial das amostras:	2.500g						
Diâmetro máximo:	19mm						

APÊNDICE C. PESO DOS CORPOS-DE-PROVA

Tabela 41: Peso dos CP's com substituição de areia por borracha

<i>CORPO DE PROVA</i>	<i>PESO DOS CORPOS-DE-PROVA (kg)</i>							
	<i>C20</i>				<i>C25</i>			
	<i>PADRÃO</i>	<i>5%</i>	<i>10%</i>	<i>15%</i>	<i>PADRÃO</i>	<i>5%</i>	<i>10%</i>	<i>15%</i>
CP 01	3,817	3,817	3,637	3,470	3,869	3,745	3,620	3,600
CP 02	3,794	3,794	3,609	3,522	3,960	3,776	3,669	3,600
CP 03	3,778	3,778	3,563	3,435	3,889	3,785	3,601	3,569
CP 04	3,813	3,813	3,593	3,510	3,894	3,780	3,664	3,583
CP 05	3,813	3,813	3,545	3,467	3,885	3,753	3,658	3,607
CP 06	3,834	3,834	3,604	3,437	3,890	3,753	3,642	3,600
CP 07	3,806	3,806	3,600	3,450	3,874	3,773	3,650	3,593
CP 08	3,820	3,820	3,602	3,512	3,898	3,741	3,618	3,587
CP 09	3,851	3,851	3,590	3,445	3,965	3,739	3,603	3,653
CP 10	3,818	3,818	3,591	3,416	3,831	3,758	3,651	3,589
CP 11	3,786	3,786	3,607	3,469	3,926	3,791	3,637	3,565
CP 12	3,803	3,803	3,614	3,507	3,925	3,743	3,641	3,590
CP 13	3,767	3,767	3,580	3,540	3,882	3,762	3,685	3,518
CP 14	3,810	3,810	3,599	3,460	3,959	3,795	3,691	3,542
CP 15	3,833	3,833	3,553	3,502	3,89	3,748	3,638	3,621
CP 16	3,824	3,824	3,583	3,450	3,907	3,741	3,66	3,646
CP 17	3,775	3,775	3,586	3,434	3,864	3,748	3,675	3,575
CP 18	3,817	3,817	3,595	3,435	3,827	3,731	3,642	3,632
Média	3,81	3,809	3,592	3,470	3,90	3,759	3,647	3,593

Tabela 42: Peso dos CP's com adição de borracha

<i>CORPO DE PROVA</i>	<i>PESO DOS CORPOS-DE-PROVA (kg)</i>	
	<i>CAB 25 5%</i>	<i>CAB 25 10%</i>
CP 01	3,675	3,517
CP 02	3,698	3,461
CP 03	3,6577	3,468
CP 04	3,712	3,447
CP 05	3,600	3,484
CP 06	3,697	3,451
CP 07	3,732	3,482
CP 08	3,731	3,435
CP 09	3,728	3,480
Média	3,694	3,469

***APÊNDICE D. COMPROVAÇÃO ESTATÍSTICA DA
CONFIABILIDADE DAS AMOSTRAS***

Tabela 43: Estatística de confiabilidade das amostras de Resistência à Compressão de CB's

IDADE	CONCRETO	CARGA (kgf)			MÉDIA (kN)	DESVIO PADRÃO	(*) COEFICIENTE DE VARIANÇÃO (%)
		CP 01	CP 02	CP 03			
7 dias	Padrão C20	16.250	14.950	14.200	15,13	1.037	6,85
	CB20-5%	10.200	10.750	11.750	10,90	786	7,21
	CB20-10%	11.100	10.800	10.200	10,70	458	4,28
	CB20-15%	7.700	8.100	8.000	7,93	208	2,62
7 dias	Padrão C25	12.800	14.600	13.600	13,67	902	6,60
	CB25-5%	14.250	12.200	13.800	13,42	1.077	8,03
	CB25-10%	7.750	8.700	8.800	8,42	580	6,89
	CB25-15%	8.200	7.750	7.500	7,82	355	4,54
28 dias Ensaio 1	Padrão C20	19.900	21.000	19.250	20,05	855	4,41
	CB20-5%	19.000	16.400	17.500	17,63	1.305	7,40
	CB20-10%	14.750	14.750	13.000	14,17	1.010	7,13
	CB20-15%	11.000	11.750	11.200	11,32	388	3,43
28 dias Ensaio 1	Padrão C25	22.850	24.000	22.850	22,57	1.594	7,06
	CB25-5%	20.850	24.000	22.850	22,57	681	3,50
	CB25-10%	14.000	11.500	13.750	13,08	1.377	10,52
	CB25-15%	11.300	11.450	11.000	11,25	229	2,04
28 dias Ensaio 2	Padrão C20	21.750	23.300	23.200	22,75	867	3,81
	CB20-5%	18.800	19.500	19.600	19,30	436	2,26
	CB20-10%	13.850	14.000	12.250	13,37	970	7,26
	CB20-15%	11.400	11.000	11.000	11,13	231	2,07
28 dias Ensaio 2	Padrão C25	22.500	20.800	22.350	21,88	941	4,30
	CB25-5%	18.750	21.000	18.400	19,38	1.411	7,28
	CB25-10%	15.400	13.000	13.700	14,03	1.234	8,80
	CB25-15%	13.250	12.250	13.000	12,83	520	4,06

(*) O percentual do Coeficiente de Variação, deve estar abaixo de 20% para ser considerado confiável

Tabela 44: Estatística de confiabilidade das amostras de Resistência à Tração de de CB's

IDADE	CONCRETO	CARGA (kgf)			MÉDIA (kN)	DESVIO PADRÃO	(*) COEFICIENTE DE VARIANÇÃO (%)
		CP 01	CP 02	CP 03			
7 dias	Padrão C20	16.250	14.950	14.200	15,13	1.037	6,85
	CB20-5%	10.200	10.750	11.750	10,90	786	7,21
	CB20-10%	11.100	10.800	10.200	10,70	458	4,28
	CB20-15%	7.700	8.100	8.000	7,93	208	2,62
7 dias	Padrão C25	12.800	14.600	13.600	13,67	902	6,60
	CB25-5%	14.250	12.200	13.800	13,42	1.077	8,03
	CB25-10%	7.750	8.700	8.800	8,42	580	6,89
	CB25-15%	8.200	7.750	7.500	7,82	355	4,54
28 dias Ensaio 1	Padrão C20	19.900	21.000	19.250	20,05	855	4,41
	CB20-5%	19.000	16.400	17.500	17,63	1.305	7,40
	CB20-10%	14.750	14.750	13.000	14,17	1.010	7,13
	CB20-15%	11.000	11.750	11.200	11,32	388	3,43
28 dias Ensaio 1	Padrão C25	22.850	24.000	22.850	22,57	1.594	7,06
	CB25-5%	20.850	24.000	22.850	22,57	681	3,50
	CB25-10%	14.000	11.500	13.750	13,08	1.377	10,52
	CB25-15%	11.300	11.450	11.000	11,25	229	2,04
28 dias Ensaio 2	Padrão C20	21.750	23.300	23.200	22,75	867	3,81
	CB20-5%	18.800	19.500	19.600	19,30	436	2,26
	CB20-10%	13.850	14.000	12.250	13,37	970	7,26
	CB20-15%	11.400	11.000	11.000	11,13	231	2,07
28 dias Ensaio 2	Padrão C25	22.500	20.800	22.350	21,88	941	4,30
	CB25-5%	18.750	21.000	18.400	19,38	1.411	7,28
	CB25-10%	15.400	13.000	13.700	14,03	1.234	8,80
	CB25-15%	13.250	12.250	13.000	12,83	520	4,06

(*) O percentual do Coeficiente de Variação, deve estar abaixo de 20% para ser considerado confiável

***APÊNDICE E. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS-
DE-PROVA***

Tabela 45: Resistência à Compressão dos CP's de CB's

IDADE	CONCRETO	CARGA (kgf)			MÉDIA (kN)	TENSÃO (MPa)			MÉDIA (MPa)
		CP 01	CP 02	CP 03		CP 01	CP 02	CP 03	
7 dias	Padrão C20	16.250	14.950	14.200	15,13	20,32	18,70	17,76	18,93
	CB20-5%	10.200	10.750	11.750	10,90	12,76	13,45	14,70	13,63
	CB20-10%	11.100	10.800	10.200	10,70	13,88	13,51	12,76	13,38
	CB20-15%	7.700	8.100	8.000	7,93	9,63	10,13	10,01	9,92
7 dias	Padrão C25	12.800	14.600	13.600	13,67	16,01	18,26	17,01	17,09
	CB25-5%	14.250	12.200	13.800	13,42	17,82	15,26	17,26	16,78
	CB25-10%	7.750	8.700	8.800	8,42	9,69	10,88	11,01	10,53
	CB25-15%	8.200	7.750	7.500	7,82	10,26	9,69	9,38	9,78
28 dias Ensaio 1	Padrão C20	19.900	21.000	19.250	20,05	24,89	26,27	24,08	25,08
	CB20-5%	19.000	16.400	17.500	17,63	23,76	20,51	21,89	22,05
	CB20-10%	14.750	14.750	13.000	14,17	18,45	18,45	16,26	17,72
	CB20-15%	11.000	11.750	11.200	11,32	13,76	14,70	14,01	14,15
28 dias Ensaio 1	Padrão C25	22.850	24.000	22.850	22,57	26,08	30,02	28,58	28,23
	CB25-5%	20.850	24.000	22.850	22,57	23,39	25,01	24,64	24,35
	CB25-10%	14.000	11.500	13.750	13,08	17,51	14,38	17,20	16,36
	CB25-15%	11.300	11.450	11.000	11,25	14,13	14,32	13,76	14,07
28 dias Ensaio 2 (35dias)	Padrão C20	21.750	23.300	23.200	22,75	27,20	29,14	29,02	28,45
	CB20-5%	18.800	19.500	19.600	19,30	23,51	24,39	24,51	24,14
	CB20-10%	13.850	14.000	12.250	13,37	17,32	17,51	15,32	16,72
	CB20-15%	11.400	11.000	11.000	11,13	14,26	13,76	13,76	13,92
28 dias Ensaio 2 (35dias)	Padrão C25	22.500	20.800	22.350	21,88	28,14	26,02	27,95	27,37
	CB25-5%	18.750	21.000	18.400	19,38	23,45	26,27	23,01	24,24
	CB25-10%	15.400	13.000	13.700	14,03	19,26	16,26	17,14	17,55
	CB25-15%	13.250	12.250	13.000	12,83	16,57	15,32	16,26	16,05

***APÊNDICE F. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DOS CORPOS-DE-
PROVA***

Tabela 46 Resistência à tração dos CP's de CB

IDADE	CONCRETO	CARGA (kgf)			MÉDIA (kN)	TENSÃO (MPa)			MÉDIA (MPa)
		CP 01	CP 02	CP 03		CP 01	CP 02	CP 03	
7 dias	Padrão C20	7.060	6.480	7.080	68,73	2,21	2,03	2,21	2,15
	CB20-5%	5.460	6.100 0	6.320	59,60	1,71	1,91	1,98	1,86
	CB20-10%	4.980	5.580	5.220	52,60	1,56	1,75	1,63	1,65
	CB20-15%	5.140	3.960	5.760	49,53	1,61	1,24	1,8	1,55
7 dias	Padrão C25	6.400	5.500	5.400	57,67	2	1,72	1,69	1,8
	CB25-5%	5.750	5.850	5.500	57,00	1,8	1,83	1,72	1,78
	CB25-10%	4.800	4.420	4.740	46,53	1,5	1,38	1,48	1,46
	CB25-15%	4.340	4.120	4.640	43,67	1,36	1,29	1,45	1,37
28 dias Ensaio 1	Padrão C20	8.060	9.220	9.160	88,13	2,52	2,88	2,87	2,76
	CB20-5%	7.900	7.760	7.200	76,20	2,47	2,43	2,25	2,38
	CB20-10%	7.700	5.350	6.600	65,50	2,41	1,67	2,06	2,05
	CB20-15%	6.200	6.080	5.960	60,80	1,94	1,90	1,86	1,9
28 dias Ensaio 1	Padrão C25	9.660	9.300	9.300	94,20	3,02	2,91	2,91	2,95
	CB25-5%	8.300	8.600	7.800	82,33	2,6	2,69	2,44	2,58
	CB25-10%	6.500	6.800	6.660	66,53	2,03	2,13	2,08	2,08
	CB25-15%	5.700	6.180	5.400	57,60	1,78	1,93	1,69	1,8
28 dias Ensaio 2 (35dias)	Padrão C20	7.000	7.600	8.840	78,13	2,19	2,38	2,77	2,44
	CB20-5%	9.200	6.600	7.200	76,67	2,88	2,06	2,25	2,4
	CB20-10%	6.300	5.900	7.180	64,60	1,97	1,85	2,25	2,02
	CB20-15%	4.500	5.300	5.600	51,33	1,41	1,66	1,75	1,61
28 dias Ensaio 2 (35dias)	Padrão C25	8.660	8.400	7.700	82,53	2,71	2,63	2,41	2,58
	CB25-5%	7.500	8.200	7.700	78,00	2,35	2,57	2,41	2,44
	CB25-10%	6.560	8.100	8.440	77,00	2,05	2,53	2,64	2,41
	CB25-15%	6.750	6.600	5.800	63,83	2,11	2,06	1,81	2