



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA ENGENHARIA E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE ENSINO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE GRADUAÇÃO

BRÁULIO ALVARENGA NAYA

**A UTILIZAÇÃO DO AGREGADO DE BORRACHA DE PNEUS
INSERVÍVEIS EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
MIÚDO NO CONCRETO DE USO NÃO ESTRUTURAL**

ORIENTADORA: PROF^a. MSC. SIMONE RAMIRES

CUIABÁ/MT
MARÇO/2014

BRÁULIO ALVARENGA NAYA

**A UTILIZAÇÃO DO AGREGADO DE BORRACHA DE PNEUS
INSERVÍVEIS EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
MIÚDO NO CONCRETO DE USO NÃO ESTRUTURAL**

Trabalho de Graduação submetido ao Corpo Docente da Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Msc. Simone Ramires

CUIABÁ/MT

MARÇO/2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

N331u Naya, Bráulio.

A utilização do agregado de borracha de pneus inservíveis em substituição parcial do agregado miúdo no concreto de uso não estrutural / Bráulio Naya. -- 2014
viii, 45 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Msc. Simone Ramires.

TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2014.

Inclui bibliografia.

1. concreto não estrutural. 2. pó de borracha. 3. resíduos de pneu. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

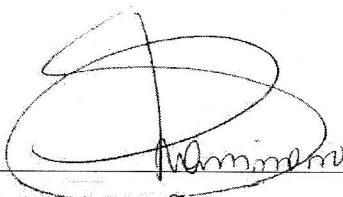
Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

A UTILIZAÇÃO DO AGREGADO DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO DE USO NÃO
ESTRUTURAL

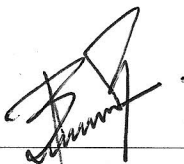
Bráulio Alvarenga Naya

TRABALHO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DA
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA
A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

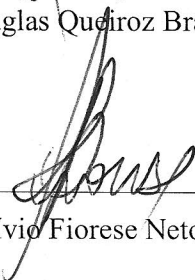
Aprovado por:



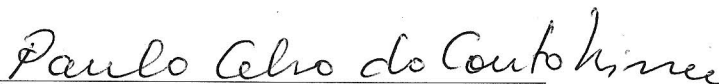
Prof. M. Sc. Simone Ramires - Orientadora



Prof. Dr. Douglas Queiroz Brandão – Membro



Prof. Olívio Fiorese Neto – Membro



Prof. Dr. Paulo Celso do Couto Nince

Coordenador de Trabalho de Graduação

CUIABÁ/MT

MARÇO/2014

RESUMO

Atualmente os resíduos gerados por pneus inservíveis causam transtornos na sociedade devido ao enorme tempo de decomposição, ao grande volume ocupado e ao despejo inadequado em rios e lixões. Para isso, uma das soluções para o reaproveitamento da borracha dos pneus é o emprego desta no mercado da construção civil na produção de concreto.

No presente trabalho, estudou-se o comportamento do concreto com adição do pó de borracha, oriunda de pneus inservíveis, em substituição parcial de 3%, 6% e 9% da massa do agregado miúdo, usando a trabalhabilidade como parâmetro igual para todas as dosagens.

Foram realizados ensaios de massa unitária e resistência à compressão do concreto aos 7 e 28 dias e os resultados obtidos indicam redução nestes quesitos em relação ao concreto padrão, chegando a perder no caso mais desfavorável (CAB 9%) 63,45% da resistência e 10,1 % da massa unitária.

Palavras-chaves: concreto não estrutural; pó de borracha; resíduos de pneu.

ABSTRACT

Currently the waste generated by waste tires cause problems in society due to massive decomposition time, the large volume occupied and the inadequate disposal in rivers and garbage dumps. To this, a solution to the reuse of rubber tires is their use in concrete production.

In the present paper, studied the behavior of concrete with addition of rubber powder, derived from scrap tires to replace some 3%, 6% and 9% of the mass of the aggregate using the same workability as a parameter for all doses.

Testing unit weight and compressive strength of concrete at 7 and 28 days were conducted and the results indicate a reduction in those proprieties in relation to standard concrete, coming to lose, in the worst case (CAB 9%), 63.45% of the resistance and 10.1% of unit mass.

Keywords: non-structural concrete, rubber dust, tire residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte de um pneu.....	5
Figura 2 - Classificação dos agregados de borracha.....	7
Figura 3- Dosagem dos materiais	20
Figura 4- Corpos de prova antes de serem rompidos	23
Figura 5- Aquecimento do enxofre.....	25
Figura 6- Gráfico de distribuição granulométrica da areia.....	27
Figura 7- Gráfico de distribuição granulométrica da brita	28
Figura 8- Gráfico de distribuição granulométrica da borracha.....	29
Figura 9- Massa unitária do concreto fresco	31
Figura 10- Resistência à compressão axial - 7 dias	32
Figura 11- Resistência à compressão axial - 28 dias	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química do pneu automotivo	4
Tabela 2- Composição dos cimentos Portland comuns e compostos	11
Tabela 3- Composição das britas (em mm)	15
Tabela 4- Dosagem do concreto	19
Tabela 5- Tolerância para a idade de ensaio.....	22
Tabela 6- Propriedades físicas e químicas do concreto.....	26
Tabela 7- Caracterização física do agregado miúdo - Areia	26
Tabela 8- Caracterização física do agregado graúdo.....	28
Tabela 9- Caracterização física do agregado miúdo – Borracha	29
Tabela 10- Resultado do ensaio "Slump Test"	30
Tabela 11- Comparação entre os CABs e CP	33
Tabela 12- Ensaio granulométrico da areia	40
Tabela 13- Ensaio granulométrico da brita 1.....	40
Tabela 14- Ensaio granulométrico da borracha.....	41
Tabela 15- Resistência à compressão dos Corpos de Prova.....	43
Tabela 16- Dosagem do concreto em Kilograma por m ³	45

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

A/C	Teor água / cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
CAB	Concreto com adição de borracha
CP	Concreto Padrão
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
NM	Norma Mercosul

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS.....	V
SUMÁRIO.....	VI
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 TEMA	1
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	1
1.3 OBJETIVO GERAL	2
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.5 JUSTIFICATIVA	2
1.6 PROBLEMA.....	3
1.7 HIPÓTESES	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO PNEU	4
2.2 PROCESSO DE REFORMA DO PNEU	6
2.3 PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DA BORRACHA.....	6
2.4 PRODUÇÃO DE BORRACHA NO BRASIL	7
2.5 CONCRETO COM ADIÇÃO DE BORRACHA.....	8
2.6 CONCRETO.....	10
2.6.1 Cimento Portland.....	11
2.6.2 Agregados	12
2.6.2.1 Origem dos agregados.....	12
2.6.2.2 Tamanho dos agregados	12
2.6.2.3 Distribuição dos grãos.....	13
2.6.3 Areia.....	14
2.6.4 Brita.....	14
2.7 LEGISLAÇÃO	15
2.7.1 Resolução CONAMA nº 258/1999	15
2.7.2 Resolução CONAMA nº416/2009	16
3 MÉTODOS E MATERIAIS	17

3.1	AMBIENTE DE PESQUISA	17
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	17
3.2.1	Cimento	17
3.2.2	Areia	18
3.2.3	Brita	18
3.2.4	Água	18
3.2.5	Borracha	18
3.3	DOSAGEM	18
3.4	ENSAIOS DE LABORATÓRIOS	20
3.4.1	Propriedades do concreto não endurecido	20
3.4.1.1	Trabalhabilidade – “Slump Test”	20
3.4.1.2	Massa unitária	21
3.4.2	Ensaio do concreto endurecido	21
3.4.2.1	Ensaio de resistência à compressão	21
3.4.3	Ensaio de caracterização dos agregados	23
3.4.3.1	Ensaio de massa unitária	23
3.4.3.2	Ensaio de massa específica real	24
3.4.3.3	Composição granulométrica	24
3.5	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	24
4	RESULTADO E OBSERVAÇÕES	26
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	26
4.1.1	Cimento	26
4.1.2	Areia	26
4.1.3	Brita	27
4.1.4	Borracha	28
4.2	ENSAIOS DO CONCRETO	30
4.2.1	Propriedades do concreto não endurecido	30
4.2.1.1	Trabalhabilidade – Slump Test	30
4.2.1.2	Massa unitária	30
4.2.2	Propriedades do concreto endurecido	31
4.2.2.1	Resistência à compressão	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	35
7	BIBLIOGRAFIA	36

APÊNDICE A - GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS	39
APÊNDICE B - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA	42
APÊNDICE C - DOSAGEM EM MASSA DO CONCRETO POR M³	44

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho pretende apresentar a análise do comportamento mecânico do Concreto com Adição de Borracha - CAB em comparação ao concreto convencional, ou seja, sem adição de borracha.

Neste trabalho foi utilizado o pó de borracha como agregado em substituição de parte do agregado miúdo em concreto de baixa resistência (não estrutural) na proporção de 3%, 6% e 9% em massa.

A partir dos ensaios é possível apresentar, bem como avaliar o desempenho do CAB e propor o seu uso no mercado da construção civil, com vistas à redução de entulhos, bem como retirar da natureza pneus que são considerados inservíveis¹.

1.1 TEMA

A utilização do agregado de borracha de pneus inservíveis em substituição parcial do agregado miúdo no concreto de uso não estrutural.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo consiste em comparar as propriedades mecânicas entre o concreto convencional e o concreto com aditivo de borracha - CAB, e posterior visualização do resultado. Foi realizada no trabalho a pesquisa experimental referente à viabilidade da confecção de concreto através de agregados miúdos, provenientes dos restos da trituração da borracha de pneus inservíveis, na cidade de Cuiabá, MT. O trabalho levantou dados de ensaios de resistência à compressão simples, massa unitária para a análise, conforme a Associação Brasileira de Normas e Técnicas – ABNT.

¹Segundo a Resolução CONAMA 416 de 2009, no seu inciso V, pneu inservível é todo pneu usado que apresente danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma (CONAMA, 2009).

1.3 OBJETIVO GERAL

Verificar o uso da borracha de pneu para a obtenção de um concreto com adição de borracha, contribuindo para a solução do problema de descarte de pneu inservível ao meio ambiente.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) apresentar o método de confecção utilizado para o concreto de pneu inservível;
- b) verificar a trabalhabilidade dos concretos com adição de borracha;
- c) indicar percentual de agregado miúdo a ser utilizado na confecção de concreto e,
- d) apresentar as propriedades mecânicas do concreto com adição de borracha.

1.5 JUSTIFICATIVA

O pneu quando torna-se inservível acarreta uma série de problemas e devem ser armazenados em condições apropriadas para evitar riscos de incêndios, bem com a manifestação de vetores, como roedores, mosquitos, cobras e doenças como dengue. Portanto, a destinação correta destes pneus deve ser levada a sério pela população e autoridades competentes, pois, considerando a dificuldade para a disposição de carcaças de pneus em aterros sanitários e falta de uma legislação para controle da destinação adequada destes resíduos, tem havido uma tendência da população em abandonar os pneus em rios, terrenos baldios e beira de estradas.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira dos Revendedores de Pneus -ABRAPNEUS (2000) são descartados 25 milhões de pneus por ano e 100 milhões de pneus inservíveis espalhados pelo país em aterros, terrenos baldios, rios e lagos, causando enormes problemas de ordem ambiental. Entre os problemas ambientais tem-se o tempo de degradação da borracha que é em torno de 600 anos, a incineração do pneu produz um resíduo oleoso que contamina o solo e o lençol freático, além de fumaça preta que polui o ar, os pneus atirados em rios e lagoas represam a água e assoreiam os leitos e, além disso, acumulam água da chuva, propiciando a disseminação de doenças como a dengue e a febre amarela.

Ante a gravidade do problema envolvendo o correto gerenciamento de pneumáticos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA elaborou em 02 de dezembro de 1999 a Resolução nº 258, que dispõe sobre a coleta e a destinação adequadas dos pneus inservíveis. O pneu possui geometria padronizada, alta resistência ao intemperismo e ao envelhecimento e ser um material homogêneo e de baixo custo e além disso é de fácil manuseio e transporte.

1.6 PROBLEMA

O concreto com a adição de borracha pode substituir com eficiência as propriedades de resistência à compressão e massa unitária do concreto convencional de uso não estrutural?

1.7 HIPÓTESES

Para responder ao problema formulado foram estabelecidas as seguintes hipóteses, baseadas em estudos e pesquisas de outros autores:

- (a) a resistência à compressão do CAB (9%) terá uma queda de no máximo 50 %, enquanto o CAB (6%) terá queda de no máximo 35 % e o CAB (3%) terá no máximo queda de 20% comparados à resistência do Concreto Padrão e,
- (b) a massa unitária dos CABs (3%, 6% e 9%) terá redução de no máximo 15% comparados à massa unitária do Concreto Padrão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico aborda o levantamento de estudos relacionados à utilização de borracha proveniente de pneus no concreto, a caracterização do pneu e do concreto.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO PNEU

Segundo a Resolução do CONAMA nº 416 de 30 de setembro de 2009, pneu é componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado em uma roda de veículo e contendo fluido(s) sobre pressão, transmite tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo.

De acordo com ANIP (2013), o pneu é constituído com uma mistura de borracha natural e borracha sintética e durante o processo são adicionados certos componentes para melhorar algumas propriedades dos pneus. Entre esses componentes pode-se citar a adição do negro de fumo, este que aumenta a resistência mecânica, o enxofre que serve no processo de vulcanização da borracha. Além disto, o pneu é constituído de zinco-aceleradores, aço, tecido de nylon e outros materiais conforme a Tabela 1:

Tabela 1- Composição química do pneu automotivo

MATERIAL	%*
Borracha	48
Negro de fumo	22
Aço	15
Tecido de nylon	5
Óxido de zinco	1
Enxofre	1
Aditivos	8

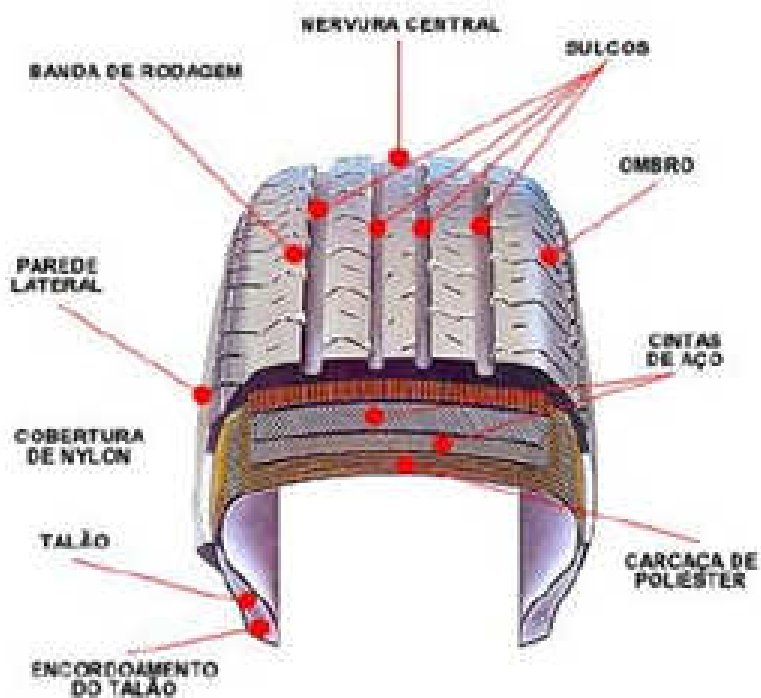
Fonte: ANIP (2013)

Segundo Freitas (2008) e ANIP (2013), Charles Goodyear em 1836 percebendo que materiais feitos de borracha não tinham boa consistência, endureciam no inverno e desmanchavam no verão, testou diversas substâncias na borracha até que descobriu o enxofre em 1839. A vulcanização é a adição de enxofre sobre o pneu sob uma determinada pressão e temperatura, a fim de dar forma e propriedades ao produto final. Devido à vulcanização, o pneu se torna

durável, e por ser um processo quase irreversível, a reciclagem fica comprometida devido à grande quantidade de energia empregada para fazer a desvulcanização.

Para entender como é a constituição do pneu abaixo tem a Figura 1, onde foi realizado um corte com o objetivo de apresentar as suas partes e materiais componentes.

Figura 1 - Corte de um pneu



Fonte: <http://www.manecopneus.com.br>

Segundo Kamimura (2002), os pneus são constituídos das seguintes partes:

Carcaça: parte resistente do pneu. Deve resistir à pressão, peso e choques. Compõem-se de lonas de poliéster, nylon ou aço. A carcaça retém o ar sobre pressão que suporta o peso total do veículo.

Banda de rodagem: É a parte do pneu que entra diretamente em contato com o solo. É formada por um composto especial de borracha que oferece grande resistência ao desgaste. Seus desenhos constituídos por partes cheias e vazias (sulcos) oferecem desempenho e segurança ao veículo.

Talões: São constituídos internamente de arames de aço de grande resistência e têm por finalidade manter o pneu acoplado ao aro sem permitir vazamentos de ar (pneu sem câmara).

Sulcos: Tem como finalidade aumentar a aderência. A água na pista é drenada favorecendo o contato entre pneu e solo. O desgaste acentuado do pneu pode provocar em contato com a água a aquaplanagem.

Flancos: São as laterais da região que sofre flexão. São dotados de uma mistura especial de borracha com alto grau de flexibilidade que protegem a carcaça de lonas.

Ombro: Localizado entre a banda de rodagem e o flanco, é a parte mais fina, permitindo uma fácil difusão de calor gerado dentro do pneu quando é utilizado.

2.2 PROCESSO DE REFORMA DO PNEU

Os pneus depois de usados, conforme a resolução Conama nº 416/2009, podem ser reformados com a proposta de aumentar a vida útil, podendo ser utilizado a recapagem, este que é um processo no qual a banda de rodagem é substituída de um pneu usado, também tem-se a recauchutagem que é um processo no qual a banda de rodagem e o ombro são substituídos de um pneu usado e, além destes tem-se a remoldagem, esta que substitui a banda de rodagem, ombros e toda a superfície de seus flancos.

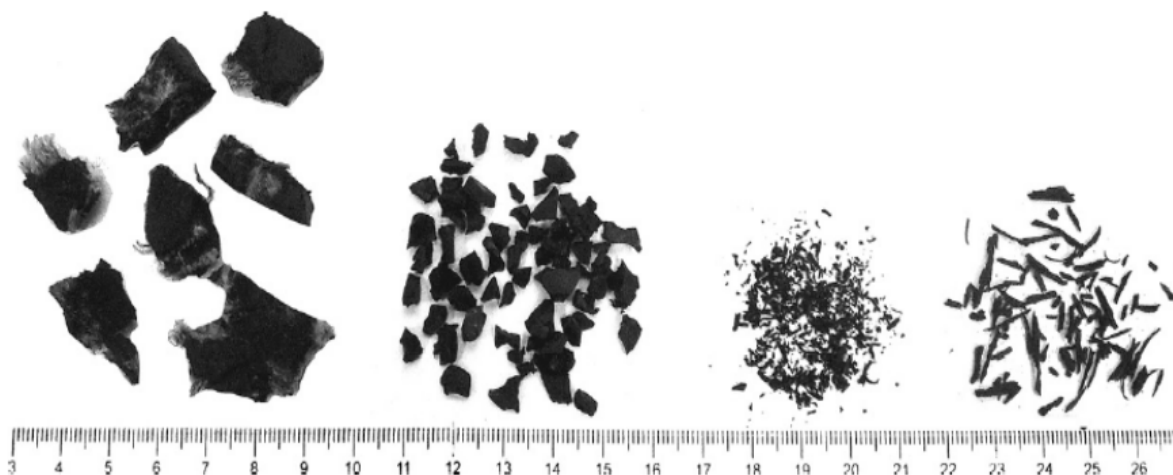
2.3 PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DA BORRACHA

Segundo a Votorantin Cimentos (2011) a produção de partículas de borracha pode ser feita através de dois processos distintos, a recauchutagem e a trituração de pneus inservíveis, onde a primeira é o processo em que o pneu é raspado, cimentado(cola) e extrusado, recebe uma banda de rodagem nova, a qual é colada, para depois receber a vulcanização. Neste processo obtém as raspas (fibras da borracha).

Enquanto que no segundo processo pode-se ser utilizada a trituração, esta que consiste na transformação do pneu inservível em pedaços granulares através do triturador. Estes pedaços, ainda de acordo com o autor são segregados em grãos de borracha, aço e nylon. Neste processo obtém o pó de borracha, grânulos ou fragmentos.

Os agregados de borracha provenientes da trituração e da recauchutagem se diferem de acordo com o tamanho e o formato segundo a Figura 2:

Figura 2 - Classificação dos agregados de borracha



Fonte: Najim (2010, apud Votorantin Cimentos, 2011)

Os agregados são classificados como:

- a) fragmentos: agregados granulares de diâmetro maior que 4,8 mm. São substitutos da brita;
- b) grânulos: agregados granulares de diâmetro entre 0,425 e 4,8 mm. São substitutos da areia;
- c) pó de borracha: agregado granular muito fino com diâmetro menor que 0,425 e
- d) lasca de borracha: agregado laminar no formato de fibras com comprimento variando entre 8,5 e 21,5 mm.

2.4 PRODUÇÃO DE BORRACHA NO BRASIL

Segundo a Anip (2013), a produção brasileira de pneus ocorreu em 1934, quando foi implantado o Plano Geral de Viação Nacional. No entanto, a concretização desse plano aconteceu em 1936 com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha – mais conhecida como Pneus Brasil – no Rio de Janeiro, que em seu primeiro ano de

vida fabricou mais de 29 mil pneus. Entre 1938 e 1941, outras grandes fabricantes do mundo passaram a produzir seus pneus no País, elevando a produção nacional para 441 mil unidades. No final dos anos 1980, o Brasil já tinha produzido mais de 29 milhões de pneus. Em 2013, o Brasil conta com a instalação de 15 fábricas de pneus, das quais cinco são internacionais: Bridgestone, Continental, Goodyear, Michelin e Pirelli.

No ano de 2012 foram produzidos no Brasil cerca de 62,7 milhões de pneus e importados cerca de 5,2 milhões.(ANIP 2012)

No primeiro trimestre de 2013 foram recolhidos 90 mil toneladas de pneus inservíveis pela Reciclanip, empresa de coleta e reciclagem.

2.5 CONCRETO COM ADIÇÃO DE BORRACHA

De acordo com os autores Siddique e Naik (2004 apud Granzotto, 2010) o concreto com adição de borracha é melhor utilizado onde precisa de amortecimento de vibrações e resistência ao impacto, enquanto que para Santos (2005) o concreto com adição de borracha diminui a resistência à compressão em relação ao concreto convencional.

Os autores Eldin e Senouci (1993) substituíram parte do agregado por borracha de pneu, utilizaram borracha de 1 mm em substituição ao agregado miúdo, e borracha com 6, 19, 25 e 38 mm em substituição ao agregado graúdo. Estes autores puderam observar que o CAB teve queda na resistência a tração, na resistência à compressão e uma diminuição na trabalhabilidade.

Ainda, de acordo com os autores as perdas das propriedades mecânicas foram causadas pela fraca aderência entre a borracha e o concreto, desta forma, concluíram que a queda na resistência é menor quando a borracha é substituída por agregado miúdo.

Além disso, Segre (1999 apud Granzotto, 2010) estudou a reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento e relatou que a quantidade de a/c influencia profundamente na resistência dos materiais a base de cimento. Quanto maior for o a/c, maior será o enfraquecimento da matriz devido ao aumento da porosidade.

O CAB diminuiu a capacidade de absorver energia elástica e aumentou a capacidade de absorver energia plástica e, pode verificar que a introdução de borracha com granulometria maior altera de forma mais negativa as propriedades mecânicas do que quando se usa uma granulometria menor (TOPÇU,1995).

Os autores Nirschlet et al. (2002) estudaram a propriedade mecânica do CAB em relação a granulometria da borracha. Concluíram que as fibras de 0,8 mm a 2,38 mm acarretam propriedades mecânicas com valores superiores ao concreto com fibras de tamanho inferior a 0,8 mm.

Neste sentido, Martins e Akasaki (2005) analisaram a absorção do CAB, pois, com o aumento da quantidade de fibras, foi possível proporcionar maior absorção de energia e, com isso observou-se que os corpos de prova foram capazes de resistir a cargas mesmo após a primeira ruptura. A granulometria foi dos aspectos pesquisados por Martins (2005), ou seja, a influência das partículas de borrachas (finas, médias e graúdas) e, com isso pode-se verificar que as partículas finas causam menor prejuízo à resistência mecânica e que a adição de borracha diminui a trabalhabilidade do concreto.

Para dar mais sentido a existência do CAB os autores França et al. (2005 apud Granzotto, 2010) estudaram a aderência do CAB com barras de aço. Estes autores produziram concreto com e sem adição de borracha, moldaram corpos de prova com uma barra de aço no interior do mesmo e realizaram ensaios de aderência (teste de tração simétrica e teste de arrancamento). A aderência entre o CAB e a barra de aço ficou dentro do recomendado pela Norma Brasileira, quando utilizaram barras de 12,5 e 16 mm.

No entanto, Albuquerque et al. (2006) afirmaram que quando maior a quantidade de borracha e menor for o tamanho das partículas utilizadas no processo, maior será o ar incorporado no concreto.

Também foram realizadas pesquisas com o intuito de estudar a resistência à flexão do CAB e, foi observada uma redução significativa em relação ao concreto convencional, atribuído a uma fraca aderência entre o cimento e as partículas de borracha (BAUER et al.2001 apud Mayer Filho (2006).

Os autores observaram uma maior deformação dos corpos de prova e um comportamento na fratura muito mais dúctil comparado ao concreto normal e que os corpos de prova de CAB

resistiram a cargas mesmo após a fratura. Concluíram que os corpos de prova de CAB não sofreram ruptura frágil sob compressão devido ao comportamento plástico (a borracha se deforma antes da fratura).

Os autores Rostamiet et al. (1993 apud Granzotto, 2010) observaram que o tratamento da borracha constitui na lavagem desta com água ou solução de CCl_4 (tetracloreto de carbono). A lavagem com água melhorou a resistência à compressão em 16% em relação à borracha não tratada. O tratamento com CCl_4 aumentou a resistência à compressão em 57% em relação à borracha não tratada.

Neste contexto, Segre e Joeques (2000 apud Granzotto, 2010) sugeriram o tratamento superficial das partículas de borracha com solução de NaOH (hidróxido e sódio) e, com isso puderam concluir que a solução provocou um aumento na aderência das partículas de borracha e a matriz de cimento.

.Além das pesquisas realizadas com granulometria, esforços mecânicos e tratamento da borracha, foi realizado estudo pelos autores Albuquerque et al. (2006) o tratamento superficial de partículas de borracha com: aditivo vinílico, aditivo acrílico e aditivo de estireno-butadieno e, então puderam concluir que os tratamentos aumentaram a resistência à tração do CAB.

Portanto, observa-se no decorrer desta revisão que é importante pesquisar com detalhe todos os componentes da borracha, sua composição, comportamento mecânico, características, entre outros.

2.6 CONCRETO

Segundo Yazigi (2004), o concreto de cimento Portland é um material constituído por um aglomerante, pela mistura de um ou mais agregados e água. Quando o concreto for recém-misturado deverá apresentar propriedade de plasticidade que facilitam o transporte, lançamento e adensamento e quando endurecido, apresentar propriedade mecânicas compatíveis com a especificação do projeto. Os aditivos poderão ser colocados no concreto com o intuito de alterar as propriedades do concreto, tais como a plasticidade, permeabilidade, resistência à compressão.

2.6.1 Cimento Portland

O cimento Portland de acordo com Carvalho (2010) e o boletim de cimento ABCP (2002) é o produto obtido pela pulverização do clínquer, mistura de calcário e argila conduzida até a temperatura de sua fusão insipiente (1450°C) e a adição de gesso, que tem a função de controlar o tempo de pega, uma vez que o clínquer é um aglomerante de endurecimento extremamente rápido. Outros materiais que podem ser adicionados ao cimento são as escórias de alto-forno, os materiais pozzolânicos e os materiais carbonáticos.

As escórias de alto-forno são obtidas pela fusão das impurezas do minério de ferro durante a produção de ferro-gusa em altos-fornos. São usadas para melhorar a durabilidade e aumentar a resistência final do concreto.

Os materiais pozzolânicos são rochas de origem vulcânicas, derivados de cinzas volantes de queima industrial. Quando pulverizados, possuem propriedades aglomerantes, reagindo com o clínquer. São usados para melhorar a impermeabilidade do concreto e argamassas.

Os materiais carbonáticos são obtidos pela moagem de rochas calcárias. Os grãos ou partículas moídas, por serem bastante finos, preenchem pequenos vazios na pasta de cimento endurecida. A Tabela 2 apresenta em detalhes a composição dos cimentos Portland comuns e compostos:

Tabela 2- Composição dos cimentos Portland comuns e compostos

Tipos de Cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)			
		Clínquer + gesso	Escória de alto-forno (E)	Material pozzolânico (Z)	Material carbonático (F)
Comum	CP I	100			
	CP I-S	99-95		1-5	
Composto	CP II-E	94-56	6-34		0-10
	CP II-Z	94-76		6-14	0-10
	CP II-F	94-90			6-10
	CP III	65-25	35-70		0-5
	CP IV	85-45		15-50	0-5
	CP V- ARI	100-95			0-5

Fonte: Carvalho, 2010

2.6.2 Agregados

De acordo com a norma ABNT 9935/2011, agregado é material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades para produção de argamassas e de concreto.

Segundo os autores Bernucci et al. (2006), os agregados são classificados segundo sua origem, tamanhos e distribuição dos grãos.

2.6.2.1 Origem dos agregados

De acordo com Bernucci et al. (2006), os agregados são classificados em: natural e artificial.

Os agregados naturais são obtidos por desmonte, escavação e dragagem de rios, mares ou depósitos continentais. Quando são produzidos através de rochas naturais podem ser de quatro tipos diferentes: ígnea, sedimentares, metamórficas ou areias e pedregulhos.

Rochas ígneas são aquelas que resfriaram do magma derretido ou parcialmente derretido. Elas podem ser formadas abaixo da superfície onde ocorre o resfriamento lento de grandes massas resultando em granitos de granulação grossa, ou próximo a superfície resultando em basaltos de granulação fina.

Rochas sedimentares são compostas pelo intemperismo e erosão de rochas pré-existentes transportados pela água e pelo vento, depositando em áreas deprimidas.

Rochas metamórficas ocorrem através de grande pressão e de grande temperatura.

Areias e pedregulhos são agregados naturais gerados das rochas e transportados antes da deposição.

Os agregados artificiais são oriundos de processos industriais, como exemplo a escória de alto forno, argila calcinada e argila expandida.

2.6.2.2 Tamanho dos agregados

A norma ABNT NBR 7211/2009 define como agregados miúdos, os materiais com diâmetro mínimo superior de 4,8mm até diâmetro máximo de 0,075mm, e agregados graúdos como material com diâmetro mínimo de 4,8 mm e máximo de 152 mm.

Segundo Carvalho (2010), os agregados graúdos são classificados por sua origem, em relação à massa específica (leves, normais e pesados) e em relação à forma (arredondados ou laminares).

Os agregados naturais são os pedregulhos (seixos rolados) e os cascalhos e, os agregados artificiais são a argila expandida, a escória e a brita.

Os agregados graúdos leves são agregados que misturados com a argamassa, produzem concretos com peso específico considerados leves tais como as argilas expandidas, as cinazitas. Os agregados normais são as britas, os cascalhos, os pedregulhos. Os pesados possuem algum tipo de material metálico, tais como a escória de alto forno ou as hematitas.

No concreto, é recomendável utilizar grãos de forma arredondada com irregularidades, pois os grãos de tamanho reduzido preenchem melhor os vazios e as irregularidades melhorando o contato entre o cimento, o agregado miúdo e o agregado graúdo (CARVALHO, 2010).

2.6.2.3 Distribuição dos grãos

Segundo Bernucci et al. (2006), quanto à distribuição dos grãos, os agregados são determinados por um peneiramento onde são colocadas várias peneiras com malhas progressivamente mais finas, onde é anotada a porcentagem retida da amostra de cada peneira, mostrados em tabelas ou gráficos.

São classificados em três tipos:

- a) agregado de graduação densa apresenta granulometria continua com baixo percentual de vazios.
- b) agregado de graduação aberta apresenta granulometria continua, mas não possui material fino (menor que 0,075mm) causando em maior volume de vazios.
- c) agregado de graduação uniforme é mal graduado, com diâmetro máximo e diâmetro mínimo muito próximo e elevado teor de vazios.

2.6.3 Areia

Areia é uma substância natural, proveniente da desagregação de rochas; possui granulometria variando entre 0,05 e 4,8 milímetros pelas normas da ABNT 7211/2009 e deve estar limpa, isenta de torrões de terra, galhos, folhas, raízes.

Elas são caracterizadas pela textura e compactidade. Com relação à textura, a areia pode ser grossa, grãos tem diâmetro máximo entre 2 e 4,8 mm, média quando grãos tem diâmetro máximo entre 0,42 e 2 mm e finas quando grãos tem diâmetro máximo entre 0,05 e 0,42 mm. (YAZIGI, 2004)

A compactidade pode ser estimada pela dificuldade ou facilidade de escavação ou penetração de um instrumento de sondagem. Quanto à compactidade, a areia pode ser fofa, medianamente compacta ou compacta. (YAZIGI, 2004)

Na construção civil, as argamassas finas são produzidas com areia fina ou média, as argamassas de assentamento com areia média ou grossa e no concreto utiliza areia grossa.

2.6.4 Brita

De acordo com Carvalho (2010), brita é um material classificado como agregado de origem artificial, de tamanho graúdo. As pedreiras, de preferência aquela contendo rochas quartzo – feldspáticas como os granitos ou gnaisses, são dinamitadas, transformando em rochas e, após são trituradas em britadores primários e britadores secundários e peneiradas obtendo dimensões especificadas.

A função da brita no concreto é resistir aos esforços solicitantes, resistir ao desgaste, à ação de intempéries, reduzir as variações de volume de qualquer natureza e contribuir para a redução do custo do concreto.

A Tabela 3 informa a dimensão das britas em milímetros e explica onde cada tipo de brita pode ser utilizada com melhor aproveitamento:

Tabela 3- Composição das britas (em mm)

brita		Mínima	Máxima
brita 0	Pedrisco: Fabricação do concreto convencional e bombeado; fabricação de manilhas, blocos de concreto, pré-moldados de concreto, lajes pré-fabricadas, fabricação de massa asfáltica etc.	4,8	9,5
brita ½	Faixa granulométrica intermediária entre Brita 0 e 1. Indústria de pré-moldados e de pavimentação asfáltica.	9,5	16
brita 1	Concreto usinado ou feito em obra, para lançamento convencional ou bombeado, para edificações (lajes, vigas, pilares etc).	9,5	19
brita 2	Concreto ciclópico e concretagem de grandes volumes, tais como elementos de fundações (blocos, baldrame, estacas) etc	19	25
brita 3	Concreto ciclópico, lastros, drenos, filtros, etc	25	38
brita 4	Concreto ciclópico, lastros, drenos, filtros, enrocamentos	38	76

Fonte: Carvalho (2010)

2.7 LEGISLAÇÃO

2.7.1 Resolução CONAMA nº 258/1999

Tendo em vista a dificuldade da destinação correta dos pneus inservíveis, em 1999, foi elaborada a Resolução do CONAMA nº 258 de 26 de agosto de 1999, que tem como objetivo proibir o descarte de pneus em aterros sanitários devido à possibilidade dos pneus voltarem à superfície causando movimentação de terra e diminuição da vida útil do aterro.

Além disso, a armazenagem inadequada é alvo de criadores de insetos como o *Aedes Aegypti*, mosquito transmissor da dengue, tem facilidade em pegar fogo e liberar gases tóxicos como monóxido de Carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, metais pesados (chumbo e cádmio), dioxinas e contaminar o lençol freático, pois o líquido carregado por hidrocarbonetos mais pesados são liberados pela queima, causando enchentes, assoreamento das margens dos rios e entupindo tubulações.

2.7.2 Resolução CONAMA nº416/2009

Esta é uma resolução criada em 30 de setembro de 2009 e revoga as resoluções nº 258/1999 e nº 301/2002, anteriores a esta e tem como objetivo dispor sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis, bem como destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências.

Além disso, determina aos fabricantes e importadores de pneus novos, com peso unitário superior a dois quilos, a coletarem e destinarem adequadamente os pneus inservíveis existentes no território nacional. A resolução estabelece que sejam criados pontos de coleta desses pneus em todos os municípios com população superior a cem mil habitantes. Para cada pneu novo comercializado, fabricantes e importadores deverão dar destinação adequada a um pneu inservível (IBAMA,2013).

Conforme o IBAMA, a coleta e destinação dos pneumáticos inservíveis atende aos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, publicada pela Lei 12.305, de 06 de agosto de 2010. A Lei obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Este tópico aborda a metodologia aplicada para desenvolver esse trabalho de graduação.

Visa analisar o ambiente de pesquisa, os ensaios laboratoriais seguindo as recomendações das normas estabelecidas e com isso, obter resultados e analisar e comparar o concreto com adição de borracha e o concreto convencional.

Este concreto com adição de borracha poderá ser utilizado como concreto não estrutural, ou seja, na construção de calçadas, meio fio, *guard rail* e tantos outros. Para isso, foram confeccionados corpos-de-prova com teores de 3%, 6% e 9% em substituição ao agregado miúdo em massa, tendo como base o concreto padrão (CP), ensaiados a compressão para que compare os dois tipos de concreto.

3.1 AMBIENTE DE PESQUISA

Esta pesquisa do ponto de vista ambiental mostra que é possível a redução da quantidade de pneus descartados em lugares inadequados, dando uma destinação ambiental adequada dos mesmos na fabricação do concreto.

No tocante a política, o trabalho se insere como precursor de possíveis ações para adoção e regularização da reciclagem de pneus na cidade de Cuiabá. Por fim, em termos técnicos o trabalho apresenta ensaios sobre o comportamento e as vantagens do concreto produzido através de pneus inservíveis.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Cimento

O cimento aplicado no trabalho é o CP II-Z-32. O cimento foi comercializado em saca de 50 Kg e foi escolhido devido a sua ampla utilização no mercado da construção civil em Cuiabá.

3.2.2 Areia

A areia aplicada no trabalho é a areia retirada do Rio Cuiabá, de granulometria muito fina.

3.2.3 Brita

A brita aplicada no trabalho é a brita calcária retirada da pedreira da guia, de granulometria tipo 1.

3.2.4 Água

A água utilizada para produção do concreto foi fornecida pela C.N Engenharia. A água era potável, incolor, inodora, insípida e foi obtida através da concessionária.

3.2.5 Borracha

A borracha adquirida para a produção do CAB foi fornecida pela Lonil Borracha, localizada em Várzea Grande – MT. Na empresa, os pneus são utilizados para a produção de tubos de borracha, gerando uma grande quantidade de pó de borracha. Este pó de borracha, que para a empresa é considerado refugo e é jogado fora, é que foi coletado para a análise pelo processo de peneiramento.

Devido ao tipo de material, a borracha coletada veio com impurezas como pedaços de plástico e de aço. Com isto, para a confecção de corpos-de-prova, a borracha foi previamente peneirada e apenas a parte do que passou na peneira 0,6 mm foi usada.

3.3 DOSAGEM

O trabalho de graduação propõe como objetivo principal verificar se é possível usar o concreto com adição de borracha sem diminuir consideravelmente a resistência à compressão, trazendo economia e segurança para a obra em que for aplicado.

Foram dosados quatro traços de concreto, sendo um padrão (sem adição de borracha) e os outros três com adição de borracha nas proporções de 3%, 6% e 9% em relação à massa do agregado miúdo.

Os traços do concreto foram fornecidos pela empresa CN ENGENHARIA, empresa responsável pelo acompanhamento, moldagem, cura e rompimento dos corpos de prova.

Na Tabela 4, é possível visualizar a dosagem dos quatro traços. Os traços são rodados em proporção em massa, tendo o cimento como o regulador da quantidade de insumos empregados.

Tabela 4- Dosagem do concreto

Concreto	Insumos (proporção em massa)				
	Cimento	Areia	Brita 1	Borracha	Água
CP (0%)	1	2,42	3,68	0	0,68
CAB 3%	1	2,348	3,68	0,072	0,773
CAB 6%	1	2,275	3,68	0,145	0,818
CAB 9%	1	2,202	3,68	0,218	0,909

Fonte: Naya (2014)

Foi estabelecido, que por ser um concreto de uso não estrutural, teria resistência à compressão de 20 MPa. A consistência do concreto, expressa pela medida do abatimento de cone, foi fixada entre 70-100 mm, valor adotado como referência aos concretos dosados. Com isso a relação a/c (água/cimento), passa a ser variável para adaptar-se a medida do Slump Test. Não foi utilizado nenhum tipo de aditivo, para que o resultado seja o mais real possível, sem a interferência de outros meios para melhorar o desempenho do concreto estudado.

Para a mistura dos componentes do concreto, utilizou-se um carrinho de mão devidamente limpo. Os agregados e o cimento foram pesados em uma balança de precisão de 0,1 gramas e a água foi medida através do tubo de ensaio.

Primeiramente, os agregados miúdos (incluindo a borracha) e os agregados graúdos foram adicionados em uma bacia como indicado na Figura 3 e posteriormente colocados no carrinho de mão e misturados. Em seguida, adicionou-se o cimento, misturando novamente. Por último, a água foi adicionada, misturando até conseguir uma massa homogênea.

Ao final do amassamento, o concreto foi retirado do carrinho de mão e submetido ao ensaio de abatimento de cone.

Figura 3- Dosagem dos materiais



Fonte: Naya (2014)

3.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIOS

Os ensaios de laboratório serão realizados com o objetivo de demonstrar a viabilidade do CAB quanto ao concreto convencional (não estrutural).

Todos os ensaios são normatizados seguindo rigorosamente a Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

3.4.1 Propriedades do concreto não endurecido

3.4.1.1 Trabalhabilidade – “Slump Test”

A trabalhabilidade consiste na energia empregada na manipulação do concreto sem perda de homogeneidade. A trabalhabilidade é medida em função de quesitos como: mobilidade da massa, a coesão das partículas presentes no concreto e dos métodos adotados para o transporte, lançamento e adensamento do concreto. Estes quesitos são influenciados devido a diversos fatores, tais como: consumo de água, consumo de cimento, fator água-cimento, relação agregado-cimento e a presença de adições e aditivos.

Neste trabalho, a trabalhabilidade do Concreto com adição de borracha será o mesmo que do Concreto Convencional, pois um concreto quando aplicado em um determinado elemento estrutural deverá possuir a mesma trabalhabilidade independentemente do tipo de agregado empregado (borracha, areia ou brita), realizando alterações no fator água-cimento.

Uma maneira de medir a trabalhabilidade do concreto é através do ensaio de “Slump Test”, onde é inserida uma massa de concreto dentro de uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente compactadas com 25 golpes cada uma. Retira-se o molde lentamente e verifica-se a diferença de altura do molde com a altura do concreto.

3.4.1.2 Massa unitária

O ensaio de massa unitária (μ) consiste na relação entre massa (m) por um volume (v).

$$\mu = \frac{m}{v}$$

Segundo Yazigi (2004), a massa unitária é uma propriedade em que é afetada pela massa dos componentes e pelo teor de ar aprisionado no concreto. Quanto maior a massa dos componentes, maior será a massa unitária e quando maior o teor de ar, menor será a massa unitária.

Para determinar a massa unitária, o concreto fresco de cada dosagem foi adicionado em dois corpos-de-prova previamente limpos de dimensões 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e adensados de forma manual, em três camadas de mesma altura, aplicando 25 golpes em cada camada, obedecendo a ABNT NBR 9833/2008 Versão corrigida: 2009.

3.4.2 Ensaios do concreto endurecido

3.4.2.1 Ensaio de resistência à compressão

Os corpos-de-prova são moldados, e depois de curados e capeados com a intenção de ter uma maior aderência entre o corpo-de-prova e a prensa, seguindo as recomendações da ABNT NBR 5738/2008.

O ensaio de resistência à compressão é realizado de acordo com a ABNT NBR 5739/2007 onde os corpos-de prova são rompidos com uma prensa universal por uma força (carga) aplicada axialmente e com a idade de 1, 3, 7, 28 (dias) e/ou superior com as tolerâncias de tempo descrito na Tabela 5. Esta idade deve ser contada a partir da hora da moldagem.

Tabela 5- Tolerância para a idade de ensaio

Idade de ensaio	Tolerância permitida (h)
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

Obs: Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação

Fonte: Norma ABNT NBR 5739/2007

Foram produzidos ao todo 16 corpos-de-prova de formato cilíndrico de dimensões 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo considerados quatro corpos-de-prova por traço, adotando 2 para serem rompidos com 7 dias depois da moldagem e os outros 2 de cada traço para romperem com 28 dias.

A resistência à compressão deve ser calculada através da seguinte expressão:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2}$$

onde:

f_c é a resistência à compressão, em megapascals;

F é a força máxima alcançada, em newtons;

D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

Na Figura 4, os corpos-de-prova estão capeados e prontos para serem rompidos:

Figura 4- Corpos de prova antes de serem rompidos



Fonte: Naya (2014)

3.4.3 Ensaio de caracterização dos agregados

3.4.3.1 Ensaio de massa unitária

A massa unitária é a razão entre a massa de um agregado, lançado a uma altura 10 a 12 cm do topo do recipiente, e o volume do recipiente. Este ensaio é normatizado pela ABNT NM 45/2006.

O objetivo de realizar este ensaio é verificar a massa do material com vazios e umidade para que possa transformar a massa de agregados para volume e vice-versa na dosagem de concretos e argamassas.

Para determinar a massa unitária dos agregados, foi utilizado um recipiente de madeira de dimensões: 22,7 x 22,6 x 22,6 cm, totalizando 11.594,253 cm³. Os agregados foram recolhidos e secados em local aberto por cinco dias, sendo que a areia foi deixada por um período de mais 24 horas na estufa do laboratório de solos, na temperatura entre 105 e 115°C,

pois nesse período ela não estava completamente seca. Para regularizar o agregado contido no recipiente, utilizou-se uma régua entre as bordas do mesmo.

3.4.3.2 Ensaio de massa específica real

A massa específica real é a razão entre a massa de um agregado e seu volume, excluindo os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos.

Para a realização do ensaio de massa específica real da areia e da brita, foi adicionada água no tubo de proveta na marca de 600 ml. Depois disto, 500 gramas do agregado escolhido foram pesadas em balança de precisão de 0,2 g e colocadas no tubo de proveta.

3.4.3.3 Composição granulométrica

O conhecimento da composição granulométrica é de importância para a dosagem de concretos, influenciando na quantidade de água a ser lançada no concreto, bem como a trabalhabilidade do concreto. A composição granulométrica é normatizada pela ABNT NM 248/2003.

Foram analisadas amostras da areia, brita e borracha. A massa da areia foi de 1.000 gramas, da brita foi de 6.000 gramas e a borracha por ser um material leve e ocupar um grande volume, adotou-se 200 gramas para não interferir no manuseio das peneiras.

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, utilizando as aberturas (25 mm – 19 mm – 12,5 mm – 9,5 mm – 6,3 mm – 4,8 mm – 2,4 mm – 1,2 mm – 0,6 mm – 0,3 mm – 0,15 mm e o fundo), sendo agitadas de modo manual.

3.5 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

A moldagem dos corpos-de-prova sucedeu-se após o ensaio de abatimento de cone. Os moldes eram cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, untados com óleo mineral e devidamente fechados. O adensamento ocorreu em duas camadas com 12 golpes em cada uma, seguindo as regulamentações da norma ABNT 5738/2008.

No período de 24 horas, os corpos de prova foram curados em local coberto. Depois deste período, eles foram retirados dos moldes e encaminhados para um tanque de imersão até o dia da ruptura.

Antes dos ensaios serem realizados, os corpos de prova foram capeados com enxofre aquecido para ter uma distribuição mais uniforme dos esforços axiais de carga conforme a Figura 5.

Figura 5- Aquecimento do enxofre



Fonte: Naya (2014)

4 RESULTADO E OBSERVAÇÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Cimento

O Cimento Portland composto CP II Z 32 é fabricado de acordo com a ABNT NBR 11578/1991 e usado em aplicações que necessitam de moderadas resistências à compressão nas primeiras idades e que estejam expostas a ataques químicos provenientes do meio ambiente.

É composto de silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, filler carbonático e pozolana e segue as seguintes exigências físicas e mecânicas fornecidas pelo fabricante na Tabela 6:

Tabela 6- Propriedades físicas e químicas do concreto

	3 dias	7 dias	28 dias
Resistência à compressão (MPa)	> 10,0	>20,0	>30,0
Tempo de início de pega (horas)	> 1		
Tempo de fim de pega (horas)	< 10		

Fonte: Itaú cimentos (2014)

4.1.2 Areia

Os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização física do agregado miúdo (areia) estão na Tabela 7:

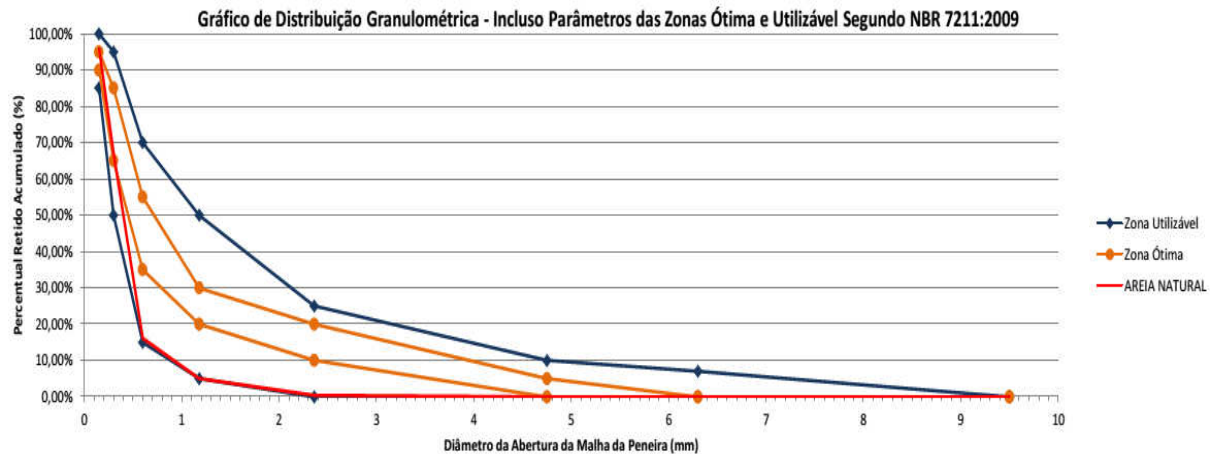
Tabela 7- Caracterização física do agregado miúdo - Areia

Análises	Resultados
Massa Unitária (g/cm ³)	1,736
Massa específica real (g/cm ³)	2,59
Módulo de Finura	1,84
D _{máx} (mm)	2,4

Fonte: Naya (2014)

O resultado obtido na composição granulométrica está na Figura 6, com as curvas representativas de limite inferior e limite superior.

Figura 6- Gráfico de distribuição granulométrica da areia



Fonte: Naya (2014)

A ABNT NBR 7211/2009 tem como objetivo especificar os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos na produção de concretos de cimento Portland. Para isso, a norma fornece os limites superiores e os limites inferiores da zona utilizável presente na Figura 6 por meio das linhas azuis e da zona ótima presente por meio das linhas laranjas. A linha vermelha corresponde à caracterização granulométrica da areia obtida através da porcentagem em massa retida no ensaio de peneiramento.

Os resultados da caracterização física e da distribuição granulométrica encontram-se dentro do recomendado da ABNT NBR 7211/2009, com a conclusão de que a areia empregada na confecção do concreto encontra-se no limite da zona utilizável inferior, portanto, pode-se considera-la como areia muito fina.

4.1.3 Brita

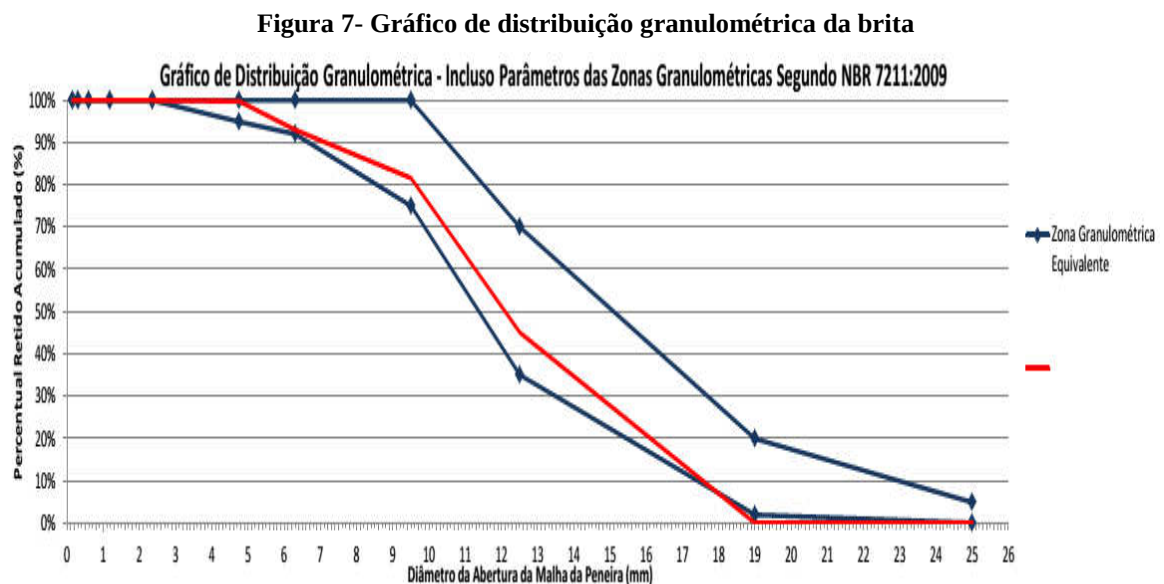
Os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização física do agregado graúdo estão na Tabela 8:

Tabela 8- Caracterização física do agregado graúdo

Análises	Resultados
Massa Unitária (g/cm ³)	1,421
Massa específica real (g/cm ³)	2,632
Módulo de Finura	6,81
D _{máx} (mm)	19

Fonte: Naya (2014)

O resultado obtido na composição granulométrica está na Figura 7, com as curvas representativas de limite inferior e limite superior.



Fonte: Naya (2014)

Os resultados da caracterização física e da distribuição granulométrica encontram-se dentro do recomendado da ABNT NBR 7211/2009, com a conclusão de que a brita utilizada na confecção do concreto é a brita 1.

4.1.4 Borracha

Os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização física do agregado miúdo (borracha) estão na Tabela 9:

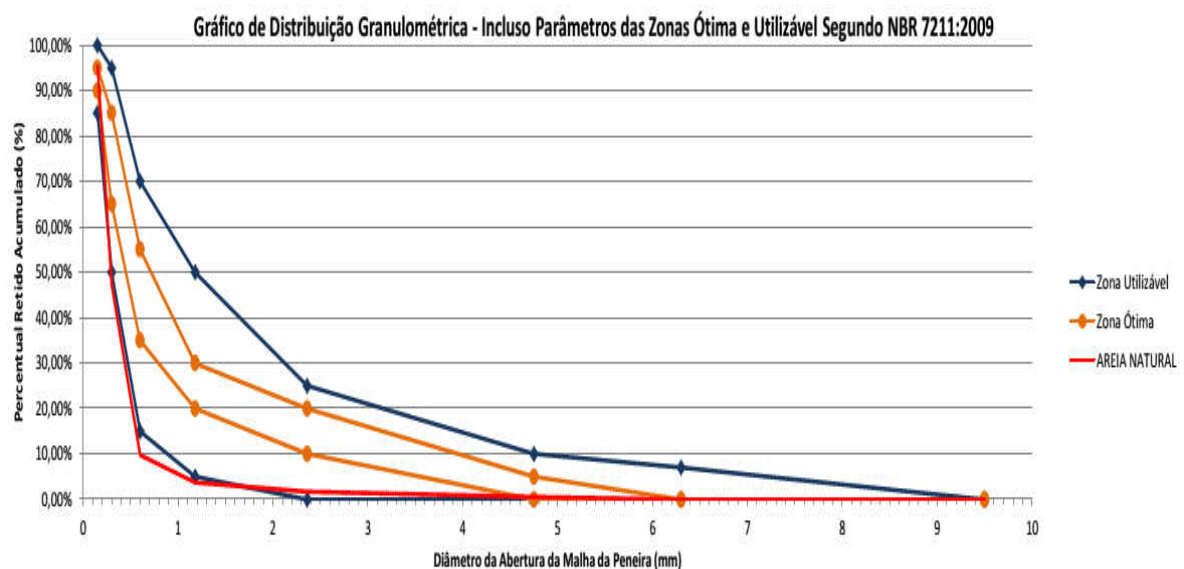
Tabela 9- Caracterização física do agregado miúdo – Borracha

Análises	Resultados
Massa Unitária (g/cm ³)	0,246
Módulo de Finura	1,58
D _{máx} (mm)	1,2

Fonte: Naya (2014)

O resultado obtido na composição granulométrica está na Figura 8, com as curvas representativas de limite inferior e limite superior.

Figura 8- Gráfico de distribuição granulométrica da borracha



Fonte: Naya (2014)

Os resultados da caracterização física e da distribuição granulométrica da borracha encontram-se dentro do recomendado da ABNT NBR 7211/2009 para agregado miúdo, com a conclusão de que a borracha empregada na confecção do concreto encontra-se na classificação de zona utilizável inferior ou fina, e que a massa unitária, o módulo de finura e o diâmetro máximo é inferior ao agregado substituído (areia).

4.2 ENSAIOS DO CONCRETO

4.2.1 Propriedades do concreto não endurecido

As propriedades do concreto não endurecido analisadas foram a trabalhabilidade e a massa unitária.

4.2.1.1 Trabalhabilidade – Slump Test

O resultado obtido através do ensaio de “Slump Test” encontra-se na Tabela 10:

Tabela 10- Resultado do ensaio "Slump Test"

Concreto	Slump (cm)
CP (0%)	9,5
CAB (3%)	9,5
CAB (6%)	7,5
CAB (9%)	9,5

Fonte: Naya (2014)

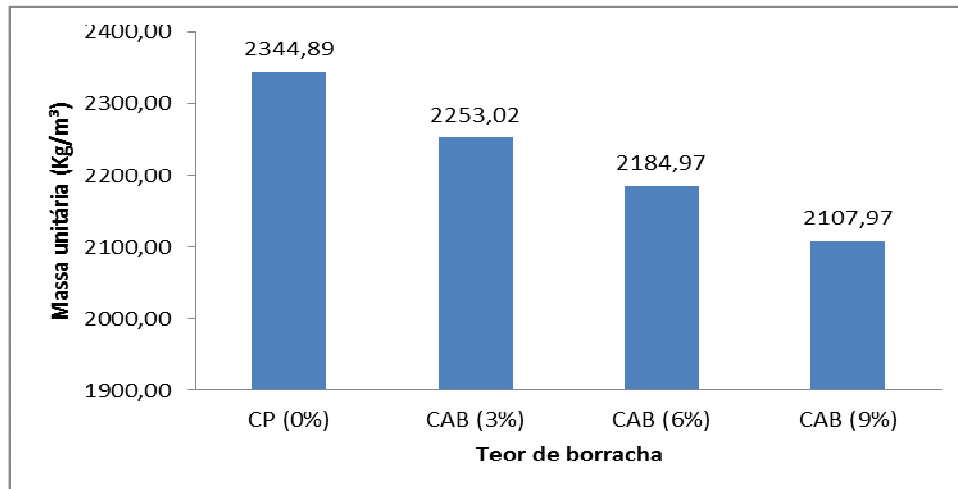
A trabalhabilidade do concreto padrão atingiu o especificado pela dosagem como foi fixado inicialmente com $a/c = 0,68$, mas a incorporação da borracha no concreto reduziu a trabalhabilidade, necessitando a adição de água para que atingisse o “slump” desejável.

A perda da trabalhabilidade é explicada pelo aumento na superfície específica da borracha em relação à areia substituída, tornando o concreto menos plástico.

Isto pode ser explicado pela menor massa específica da borracha, que conseqüentemente tem um maior volume de material, gerando um aumento na área de contato e uma maior área a ser molhada.

4.2.1.2 Massa unitária

Os dados do ensaio encontram-se na Figura 9:

Figura 9- Massa unitária do concreto fresco

Fonte: Naya (2014)

O concreto padrão (CP) possui uma maior massa unitária, enquanto os CABs reduzem a massa unitária quando maior for o teor de borracha. Isso pode ser explicado pela menor massa específica da borracha perante a massa específica da areia. Outro motivo é a incorporação de ar mediante a adição de borracha, quanto maior o teor de ar, menor a massa unitária.

E por último, a queda do consumo de cimento, que influencia não somente a redução do cimento, mas também a da areia e da brita, que são produtos com grande massa específica se comparados com a borracha.

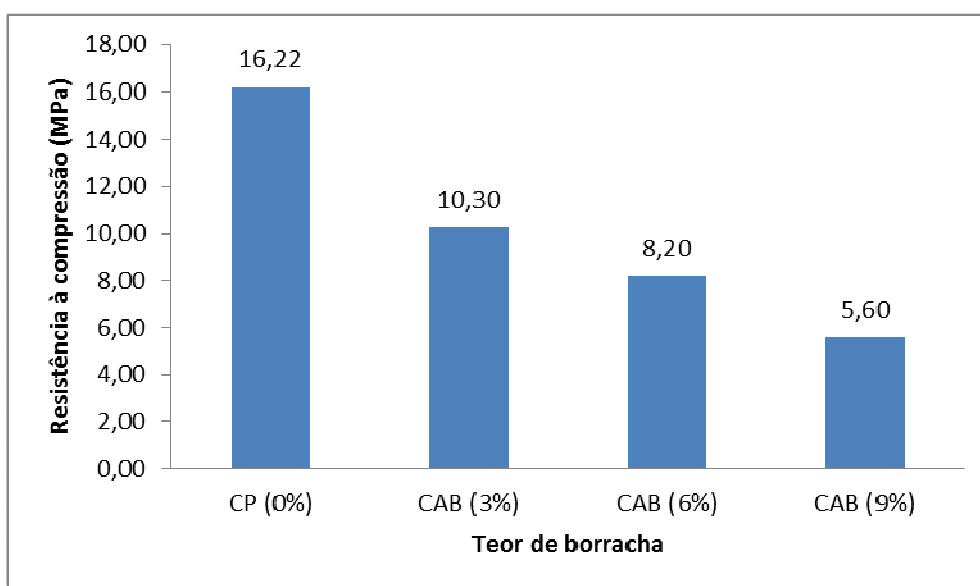
Isto pode ser observado na prática, visto que quando maior o teor de borracha substituído, maior o volume do concreto produzido e maior a quantidade de sobras de material do traço rodado.

Analisando o gráfico, percebe-se que o CAB (3%) teve redução de 3,91% na massa específica comparado ao CP, enquanto o CAB (6%) teve redução de 6,82% e o CAB (9%) reduziu 10,1%

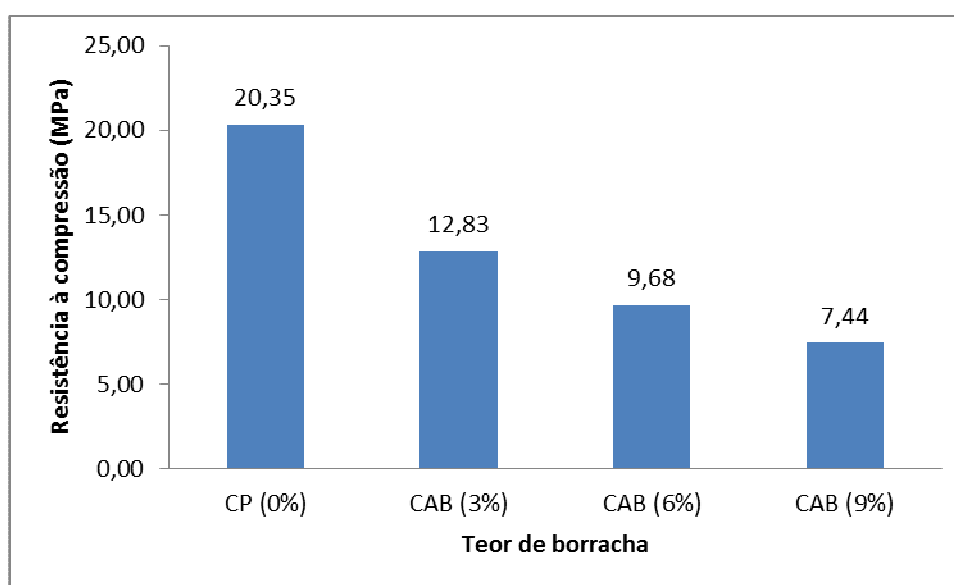
4.2.2 Propriedades do concreto endurecido

4.2.2.1 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias podem ser visualizados nas Figuras 10 e 11:

Figura 10- Resistência à compressão axial - 7 dias

Fonte: Naya (2014)

Figura 11- Resistência à compressão axial - 28 dias

Fonte: Naya (2014)

Com estes dados, na Tabela 11 podem ser comparadas as perdas de resistências dos CABs em relação ao CP, em porcentagem.

Tabela 11- Comparação entre os CABs e CP

Concreto	Resistência à compressão (MPa)			
	7 Dias	Perdas (%)	28 Dias	Perdas (%)
CP (0%)	16,22	-	20,35	-
CAB (3%)	10,30	36,50	12,83	36,92
CAB (6%)	8,20	49,45	9,68	52,44
CAB (9%)	5,60	65,46	7,44	63,45

Fonte: Naya (2014)

Analisando a tabela e as figuras acima, nota-se que o aumento no teor de borracha adicionado produz um concreto com resistência à compressão inferior ao CP. Este fato pode ser observado por diversos autores citados na referência bibliográfica.

Um das causas dessa redução da resistência é o aumento da relação a/c, pois parte da água, que serve para melhorar a trabalhabilidade, quando aplicada no concreto, evapora, obtendo vazios (maior porosidade). A perda da resistência em relação à compressão pode estar relacionada também, a outros fatores como a queda na relação de cimento por m³, o tamanho da partícula de borracha (pó de borracha), ao teor de ar aprisionado, entre outros.

Aos 7 dias, o CAB (3%) perdeu em resistência 36,5%, o CAB (6%) perdeu 49,45 % e o CAB (9%) perdeu 65,46%, enquanto aos 28 dias o CAB (3%) perdeu em resistência 36,92%, o CAB (6%) perdeu 52,44 % e o CAB (9%) perdeu 63,45%.

Não foi possível verificar grande diferença entre as perdas de resistência dos CABs aos 7 dias e aos 28 dias. E não foi possível verificar uma tendência em relação à perda entre os dias rompidos, já que o CAB(3%) e o CAB (6%) tiveram perda maior aos 28 dias e o CAB (9%) teve perda maior os 7 dias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho os ensaios de caracterização demonstraram que o agregado de borracha utilizado na pesquisa tem a granulometria de um agregado miúdo.

As perdas na resistência à compressão e a redução da massa unitária eram esperadas. No quesito resistência, a queda foi maior que o previsto nas hipóteses enquanto a hipótese em relação à massa unitária se provou certa.

Um dos fatores para ter uma queda na resistência tão acentuada, foi o aumento expressivo no teor de a/c, pois o concreto com adição de borracha necessita de maior adição de água, para possuir a mesma trabalhabilidade do concreto convencional.

Os CABs (3% e 6%), embora necessitem de novos estudos e experimentos, podem ser usados em função não estrutural, como na confecção de calçadas, *pavers*, *guard rails*, telhas de concreto, blocos de alvenaria, postes, painéis.

No sentido ambiental, o concreto com adição de borracha é favorável, pois é uma forma de diminuir a quantidade de pneus jogados de forma inconsequente na natureza, contribuindo para reduzir os problemas ambientais e de saúde pública, e passando a ser incorporada como material alternativo no mercado da construção civil.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- (a) A utilização de agregados de borracha com composição granulométrica diferente;
- (b) Utilizar como referência o mesmo “Slump” e mesmo teor a/c, alterando apenas a dosagem de aditivo plastificante;
- (c) Realizar estudos de impacto, isolamento acústico, isolamento térmico e absorção de água nos CABs.

7 BIBLIOGRAFIA

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5739; **Ensaio de resistência à compressão axial simples**, Rio de Janeiro/RJ, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9833 Versão Corrigida: 2009; **Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**, Rio de Janeiro/RJ, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5738; **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**, Rio de Janeiro/RJ, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9935; **Agregados-Terminologia**, Rio de Janeiro/RJ, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NM 45; **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**, Rio de Janeiro/RJ, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NM 248; **Agregados - Determinação da composição granulométrica**, Rio de Janeiro/RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7211; **Agregados: para concreto- Especificação**, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. São Paulo. **ANIP em números**. Disponível em: <www.anip.com.br>. Acesso em: 10 de outubro de 2013.

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

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. PETROBRAS: ABEDA. Rio de Janeiro. 2006.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA. **Instrução normativa nº 1**, de 18 de março de 2010. Disponível em: http://servicos.ibama.gov.br/ctf/manual/html/IN_01_2010_DOU.pdf. Acessado em: 12 de outubro de 2013.

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: 12 de outubro de 2013.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº416/2009**, de 30 de setembro de 2009 - In: Resoluções, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acessado em: 12 de outubro de 2013.

CARVALHO, J. D. N. **Concreto armado- Notas de aula B (61)**. Editora Eduem. Maringá/PR. 2010

ELDIN N.N. E. SENOUCI A .B.. **“Rubber – Tire Particles as concrete Aggregate”**. Journal of Materials in Civil Engineering, 1993.

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.

FREITAS, L. M. **Borracha e Vulcanização – A invenção de Charles Goodyear**. Disponível em: <http://www.coladaweb.com/quimica/quimica-geral/borracha-e-vulcanizacao-a-invencao-de-charles-goodyear>. Acesso em 20 de outubro de 2013.

GRANZOTTO, L. **Concreto com adições de borracha: Uma alternativa ecologicamente viável**. Dissertação de mestrado (Vinculada ao programa de pós-graduação em engenharia urbana da UEM). Maringá, 2010.

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, 2002.

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.

MAYER FILHO, L. A. P. **Influência da adição de resíduos de pneus nas propriedades físicas do concreto**. Trabalho de Graduação em engenharia civil da Universidade Anhembí Morumbi. São Paulo, 2006.

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.

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.

SEGRE, N.; JOEKES, I. **Use of tire rubber particles as addition to cement paste**. Cement and Concrete Research, 2000.

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, 1995.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Apresenta informações sobre a empresa.** Disponível em: http://www.sobratemacongresso.com.br/download/pal_24.pdf. Acessado em: 10 de agosto de 2013.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar.** 6 ed. São Paulo, PINI, 2004.

APÊNDICE A - GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS

Tabela 12- Ensaio granulométrico da areia

Peneira Abertura em mm	Material retido (g)	Porcentagem em massa	
		Retido	Acumulado
25	0	0,00	0,00
19	0	0,00	0,00
12,5	0	0,00	0,00
9,5	0	0,00	0,00
6,3	0	0,00	0,00
4,8	0	0,00	0,00
2,4	3,6	0,36	0,36
1,2	47,1	4,72	5,08
0,6	110,1	11,03	16,11
0,3	509,1	51,02	67,13
0,15	285,1	28,57	95,70
Fundo	42,9	4,30	100,00
Total	998,9 g		
Massa Inicial da amostra	1000 g		

Tabela 13- Ensaio granulométrico da brita 1

Peneira Abertura em mm	Material retido (g)	Porcentagem em massa	
		Retido	Acumulado
25	0	0,00	0,00
19	0	0,00	0,00
12,5	2702,2	45,15	45,15
9,5	2181,4	36,45	81,61
6,3	683,6	11,42	93,03
4,8	400,6	6,69	99,72
2,4	14,4	0,24	99,96
1,2	1,0	0,02	99,98
0,6	0,7	0,01	99,99
0,3	0,6	0,01	100,00
0,15	0,1	0,00	100,00
Fundo	0,1	0,00	100,00
Total	5984,4 g		
Massa Inicial da amostra	6000 g		

Tabela 14- Ensaio granulométrico da borracha

Peneira Abertura em mm	Material retido (g)	Porcentagem em massa	
		Retido	Acumulado
25	0,0	0,00	0,00
19	0,0	0,00	0,00
12,5	0,0	0,00	0,00
9,5	0,0	0,00	0,00
6,3	0,0	0,00	0,00
4,8	1,2	0,60	0,60
2,4	2,1	1,05	1,65
1,2	4,2	2,08	3,73
0,6	12,1	6,05	9,78
0,3	74,8	37,47	47,25
0,15	95,9	48,04	95,29
Fundo	9,4	4,71	100,00
Total	199,6 g		
Massa Inicial da amostra	200 g		

APÊNDICE B - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA

Tabela 15- Resistência à compressão dos Corpos de Prova

Idade	Concreto	Carga (tf)		Valor máximo (tf)	Tensão (MPa)
		CP 01	CP 02		
7 Dias	CP (0%)	12,74	12,32	12,74	16,22
	CAB (3%)	7,86	8,09	8,09	10,30
	CAB (6%)	5,85	6,44	6,44	8,20
	CAB (9%)	4,40	4,28	4,40	5,60
28 Dias	CP (0%)	15,98	14,66	15,98	20,35
	CAB (3%)	9,14	10,08	10,08	12,83
	CAB (6%)	7,60	7,11	7,60	9,68
	CAB (9%)	5,84	5,57	5,84	7,44

APÊNDICE C - DOSAGEM EM MASSA DO CONCRETO POR M³

Tabela 16- Dosagem do concreto em Kilograma por m³

Cimento	Areia	Brita	Borracha	Água
301,40	729,39	1109,15	0,00	204,95
286,17	671,93	1053,11	20,60	221,21
275,95	627,79	1015,50	40,01	225,73
263,20	579,57	968,58	57,38	239,25