



Universidade Federal do Pampa
CAMPUS TECNOLÓGICO DE ALEGRETE

ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAVER COM RESÍDUO DE PNEU EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DOS AGREGADOS**

GABRIELA DO PRADO SÁ BRITO

Alegrete

2013

GABRIELA DO PRADO SÁ BRITO

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAVER COM RESÍDUO DE PNEU EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DOS AGREGADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das atividades
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil na Universidade Federal
do Pampa.

Profa. Dra Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri
Orientadora

Eng. Marcelo Oliveira
Co-orientadores

**Alegrete
2013**

GABRIELA DO PRADO SÁ BRITO

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAVER COM RESÍDUO DE PNEU EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DOS AGREGADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das atividades
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil na Universidade Federal
do Pampa.

Trabalho apresentado e aprovado em: 26 de março de 2013

Banca examinadora:

Profa. Dra Elizabete YukikoNakanishiBavastri (orientadora)
UNIPAMPA

Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos
UNIPAMPA

Eng° Marcelo de Oliveira Dias (co - orientador)
UNIPAMPA

Eng° Jarbas Bressa Dalcim
UNIPAMPA

Dedico este trabalho a minha mãe Tânia
do Prado por seu amor e paciência de sempre para comigo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por tudo em minha vida, por ter me dado forças para chegar a esta etapa da faculdade.

Agradeço aos meus pais, Hélio Sá Brito e Tânia do Prado, pelo incentivo e exemplo que sempre me deram, principalmente a minha mãe, que esta sempre do meu lado me ajudando, no que pode, e que correu muito por mim durante toda a faculdade.

Agradeço a minha orientadora Professora Elizabete Nakanishi, pela orientação, compreensão, incentivo e amizade. E também ao meu co-Orientador Engenheiro Marcelo Dias, pelo na realização das atividades no laboratório.

Agradeço, aos meus colegas e amigos Algacir Dias Filho, Débora Righi, Naiéle Medeiros, Silênia Priscila Lemes, e Stefania Darold pela ajuda nas atividades deste trabalho e paciência quando o algo dava errado no andamento deste, em especial a Silênia Priscila Lemes, pela preocupação comigo e com meu trabalho, que muitas vezes deixou de realizar o seu próprio TCC para me ajudar nas atividades, e que juntamente com a Débora Righi, foram minhas companheiras de muitos trabalhos durante boa parte da graduação.

Agradeço ao Juliano Fernandes, que me acompanhou desde o começo da faculdade, e aos demais amigos e familiares que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

RESUMO

Com o crescimento populacional, e econômico, nas últimas décadas, surgiu cada vez mais problemas quanto a destinação final dos resíduos gerados pela humanidade. O pneu velho é um destes resíduos, que está sendo produzido em escala cada vez maior, mas que tem um tempo de degradação muito grande, gerando o acúmulo deste. Para tentar reverter o quadro de lotação dos aterros, muitas pesquisas vêm sendo realizadas, para achar destinação final adequada para os pneus ao final de sua vida útil. Este trabalho visa avaliar as propriedades do concreto com resíduo de borracha incorporado a ele, para fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada. Para o desenvolvimento desta pesquisa, primeiramente foi calculado o traço referência e escolhido porcentagem de substituição do agregado por resíduo, sendo que o traço utilizado foi 1: 1,72: 2,15, fator a/c =0,49, e as porcentagem de substituição foi de 3,88%, 4,48% e 5,82% do volume dos agregados. A substituição se deu em maior parte na areia, do que no pedrisco, e as fibras borracha passaram a representar 2,45%, 3,07% e 3,69% do volume total do concreto. Nesta pesquisa foi feita a caracterização do material, estudo das propriedades no estado fresco (massa específica e consistência do concreto) e avaliação das propriedades no estado endurecido (resistência a compressão e absorção de água), concluindo que a substituição dos agregados por resíduos de borracha reduz a resistência a compressão dos blocos de concreto, podendo, estes, serem usados, apenas em lugares com carregamento estritamente leves, o qual não é referenciado na norma referente aos pavimentos intertravados.

ABSTRACT

Due to the world's population and economical growth along the past few decades, there have been great concerns over the final destination of the residues generated by humanity. Old tires are among these residues, and are being produced in scales each time larger, which, along with its long degradation time, results on its accumulation in the environment. In order to revert the present scenario of overloaded landfills, many research have been made, whose primary goal is to find an adequate destination to these tires once they are no longer in use. This paper aims to evaluate the proprieties of concrete with embedded rubber residues on the production of concrete blocks for interlocked pavement. To develop this research, it was first calculated the reference trace, and chosen the percentage of substitution of aggregate for residue, being the utilized trace 1:1,72:2,15, factor $a/c = 0,49$, and the replacement percentages 3,88, 4,48% and 5,82% of the aggregate volume. The replacement was made mainly on the sand than on gravel 0, and the rubber fibers came to represent 2,45%, 3,07% and 3,69% of the total concrete volume. In this research was made a characterization of the material, a study of the proprieties on fresh state (specific mass and concrete consistency) and evaluation of the proprieties on the hardened state (resistance to compression and water absorption), concluding that, the replacement of aggregate for rubber residues reduces the resistance to compression of concrete blocks, so that these can only be used in places with light loading, which is not referenced on the standard referent to interlocked pavement.

LISTA DE ABREVEATURAS

- ABCP** – Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANIP** – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
- BNDES** – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
- CCL₄** – Tetracloreto de Carbono
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CEMPRE** – Compromisso Empresarial para Reciclagem
- CPV ARI** – Cimento Portland de Alta Resistência
- CPIV** – Cimento Portland Pozolânico
- FNMA** – Fundo Nacional do Meio Ambiente
- IBAMA** – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
- MPa** – Mega Pascal
- Na OH** – Hidróxido de Sódio
- NBR** – Norma Brasileira Regulamentadora
- NCM** – Nomenclatura Comum do Mercosul
- NM** – Norma Mercosul
- PNRS** – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- PPC** – Peças Pré-moldadas de Concreto
- PVC** – Policloreto de Polivinila
- UFSM** – Universidade Federal de Santa Maria
- UNIPAMPA** – Universidade Federal do Pampa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelos de pavers para pavimentação intertravada	17
Figura 2: Elementos que compõem o pavimento intertravado.....	20
Figura 3: Assentamento manual dos blocos	22
Figura 4: Distribuição de tensões no interior de um pavimento intertravado.....	23
Figura 5: Tipologias de blocos intertravados.....	26
Figura 6: Principais tipos de arranjos dos pavers.....	27
Figura 7: Detalhe da estrutura do pneu.....	31
Figura 8: Pneus inservíveis a céu aberto.....	34
Figura 9: Fluxograma das etapas das atividades desenvolvidas	46
Figura 10: Resíduo de borracha.....	49
Figura 11: Assentamentos típicos do pavimento intertravado.....	52
Figura 12: Resíduo de borracha.....	53
Figura 13: (a) adensamento dos pavers na mesa vibratória; (b) mesa vibratória.....	53
Figura 14: Desmoldagem dos pavers.....	54
Figura 15: Pavers do traço B, antes de serem submetidos à cura.....	54
Figura 16: Medição do abatimento obtido, no ensaio de consistência pelo abatimento de tronco de cone	55
Figura 17: Etapas da determinação da massa específica do concreto	56
Figura 18: Ensaio de compressão do paver.....	58
Figura 19: Etapas do ensaio de absorção de água.....	59
Figura 20: Vazios observado no paver do traço referência	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características física, química e mecânicas do cimento	47
Tabela 2 - Porcentagens das fibras de borracha nos traços	51
Tabela 3 – Proporção dos materiais em porcentagem, nos diferentes traços.....	51
Tabela 4 – Consumo dos materiais nas quatro dosagens	52
Tabela 5 – Características da areia	60
Tabela 6 – Características do pedrisco	61
Tabela 7 – Características do resíduo de borracha.....	62
Tabela 8 – Resultados do ensaio da consistência.....	63
Tabela 9 – Massa específica de cada traço	64
Tabela 10 – Resistência característica à compressão dos pavers aos 7 dias.....	65
Tabela 11 – Resistência característica à compressão dos pavers aos 28 dias	65
Tabela 12 - Absorção de água em cada amostra	68
Tabela 13 – Absorção de água nas PPC	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- comparação das resistências características à compressão	66
Gráfico 2- Absorção de água.....	69

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 <i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.1 <i>Objetivos Específicos</i>	16
CAPÍTULO 2	17
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADOS	17
2.1.1 <i>Vantagens</i>	18
2.1.2 <i>Estrutura do pavimento intertravado</i>	19
2.1.3 <i>Fabricação dos pavers</i>	24
2.1.3.1 <i>Materiais</i>	24
2.1.3.2 <i>Processo de fabricação dos pavers e equipamentos utilizados</i>	24
2.1.4 <i>Tipologias</i>	25
2.1.5 <i>Espessura</i>	27
2.1.6 <i>Arranjos</i>	27
2.1.7 <i>Norma Brasileira para Peças de Concreto para Pavimentação</i>	28
2.2 PNEUS.....	29
2.2.1 <i>Estrutura do Pneu</i>	30
2.2.2 <i>Classificação dos Pneus</i>	32
2.2.3 <i>Produção e Descarte de Pneus</i>	33
2.2.3.1 <i>Impacto Ambiental do Descarte de Pneus</i>	34
2.2.4 <i>Legislação Ambiental</i>	35
2.2.5 <i>Reforma do pneu</i>	37
2.3 ADIÇÃO DE BORRACHA EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS.....	37
2.3.1 <i>Propriedades do Concreto com Borracha no Estado Fresco</i>	38
2.3.2 <i>Propriedades do Concreto com Borracha no Estado Endurecido</i>	40
2.4 TRATAMENTOS DOS RESÍDUOS DE PNEU INCORPORADOS NO CONCRETO	43
CAPÍTULO 3	45
MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 MATERIAIS	46
3.1.1 <i>Cimento Portland</i>	46
3.1.2 <i>Areia</i>	47
3.1.2 <i>Pedrisco</i>	48
3.1.3 <i>Resíduo de pneu</i>	48
3.1.4 <i>Água de amassamento</i>	49
3.2 METODOLOGIA	50
3.2.1 <i>Dosagem</i>	50
3.2.2 <i>Fabricação</i>	52
3.2.3 <i>Ensaios para avaliação das propriedades no estado fresco</i>	55
CAPÍTULO 4	60
ANÁLISE DOS RESULTADOS	60

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	62
4.1.1 AREIA	62
4.1.2 PEDRISCO	62
4.1.3 RESÍDUO DE PNEU	62
4.2 CONSISTÊNCIA	62
4.3 MASSA ESPECÍFICA	63
4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	64
4.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA	67
CAPÍTULO 5	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
5.1 CONCLUSÃO	70
5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao longo dos anos, tem sido notável os problemas com o gerenciamento e a destinação final dos resíduos sólidos gerados pela sociedade, principalmente devido ao crescimento populacional e ao aumento da utilização de matérias descartáveis como embalagens, pneus, garrafas PET, entre outros. Nesse sentido, diversos pesquisadores vêm buscando alternativas para introduzir ou incorporar certos resíduos na produção e/ou fabrico dos materiais que são utilizados na construção civil.

Análogo ao impasse ambiental causado pelos resíduos, segundo Fioriti (2007), a utilização de pavimentos intertravados com blocos pré-moldados de concreto vem crescendo em todo o mundo, particularmente no Brasil. Os blocos pré-fabricados de concreto, chamados de Pavers, possuem algumas vantagens como facilidade de assentamento e, com isso, liberando o tráfego rapidamente, fácil acessibilidade às redes subterrâneas, praticidade na manutenção e a permeabilidade que essa pavimentação proporciona, e, por fim, auxiliando na drenagem urbana. Além disso, com o processo de fabrico dos pavers, pode-se contribuir com o meio ambiente, ao se adicionar os resíduos gerados pela população em sua composição.

Com o intuito de incorporar resíduo de pneu na fabricação de pavers, salienta-se que a reciclagem do pneu é importante para o meio ambiente, visto que, de acordo com Ramos (2005), a queima destes a céu aberto liberam carbono, dióxido de enxofre e outros poluentes atmosféricos já a estocagem gera riscos a saúde devido a facilidade de proliferação de insetos e roedores nestes locais, além de risco de incêndio pela ignição de elementos inflamáveis que contém.

Para evitar risco à saúde e ao meio ambiente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou em 1999 a Resolução 258 que credita as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos, a partir de 2002, uma reciclagem

gradual de pneus inservíveis existentes no país. Esse novo cenário, marcado pela preocupação com o meio ambiente, busca alternativas sustentáveis, o que tem impulsionado o setor da engenharia civil a intensificar as pesquisas a fim de desenvolver novos materiais que possibilitem aproveitar resíduos de outros setores produtivos.

De acordo com o CEMPRE (2010), o índice de reciclagem de pneus no Brasil em 2010 foi de 92%, sendo que já existem 600 postos de coletas de pneus usados no Brasil. Nesses postos, os pneus são classificados sob duas formas: em inservíveis, ou seja, os que possuem danos irreparáveis em sua estrutura, não servindo mais para rodagem e à reforma, e os com condições de passarem por processos de recuperação.

A reciclagem do pneu, por meio da recapagem ou da remoldagem, aumenta a vida útil deste, em cerca de 40%, e diminui o consumo de matéria prima e energia, no entanto, este processo gera como resíduo as raspas de borracha (FREITAS, 2007). Já os pneus inservíveis, em parte, são destinados as indústrias de cimento que os utilizam como combustível alternativo, e os demais são reutilizados após sua trituração. O material resultante dos processos de raspagem e trituração do pneu pode ser aproveitado como matéria-prima pela indústria da construção civil. No caso de materiais a base de cimento, o uso de materiais recicláveis não envolve apenas uma questão ambiental, mas também resulta em modificações ou melhorias em certas propriedades (SEGRE, 1999).

Diante do exposto, na qual busca-se encontrar alternativas sustentáveis, que conciliem a minimização dos impactos ambientais, causados pelos resíduos gerados pela sociedade, com a possibilidade de aproveitamento de resíduos pelos diferentes setores produtivos, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa: é viável tecnicamente a fabricação de blocos de concreto intertravados com incorporação de borracha proveniente das raspas geradas pelos processos de recauchutagem ou de remoldagem dos pneus?

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao mesmo tempo em que os veículos automotores terrestres foram sendo

produzidos em escalas cada vez maiores, cresceram as indústrias de pneus, destinando-os tanto à equipagem dos veículos novos quanto à reposição na frota em circulação. Segundo dados da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2011), o Brasil produziu 66,9 milhões de pneus em 2011, sendo cerca de 17,4 milhões exportados para mais de 85 países e o restante destinados ao consumo interno.

Como o pneu inservível não pode voltar à linha de produção de um novo pneu porque as ligações cruzadas, provenientes da vulcanização, são economicamente irreversíveis (FREITAS, 2007), eles tornaram-se um problema com o passar do tempo, devido ao acúmulo de bilhões de pneus em todo o planeta, uma vez que o tempo de degradação, segundo Freitas (2007), é cerca de 150 anos. Nesse sentido, a fim de diminuir o número de pneus inservíveis, é comum estes serem reformados, o processo de recauchutagem, que no Brasil atinge, segundo estimativas do CEMPRE (2010), 70% da frota de transporte de carga de passageiros e em menor escala, no caso dos automóveis, apesar de aumentar o tempo de vida útil do pneu, em 40%, as bandas de rodagem dos pneus que são substituídas, tornam-se resíduos.

Com isso, torna-se evidente a necessidade de utilização do pneu inservível e dos resíduos de pneu gerados nos processos de reforma destes, em outros setores. Para encontrar um destino correto ao descarte de material oriundo dos processos de reformas dos pneus, o uso da borracha de pneu como agregado no concreto, vem sendo amplamente estudado. Granzotto (2010), analisou diversos trabalhos realizados no assunto e concluiu que a utilização em blocos de pavimentação é uma forma viável para o aproveitamento deste material, pois a resistência à compressão não é sua principal propriedade, e que os resultados referentes à resistência à abrasão são pontos favoráveis para sua utilização.

Com isso, além de encontrar-se um destino correto aos resíduos, ajuda a minimizar o consumo de recursos naturais para a fabricação dos blocos intertravados. De acordo com Sjostrom (1996) apud John (2000), a construção civil consome entre 14% a 50% dos recursos naturais que são extraídos do planeta.

A escolha de utilizar as raspas de borracha proveniente da recauchutagem e pela remoldagem, ao invés da borracha triturado dos pneus inservíveis, justifica-se

por serem economicamente mais viáveis, pois dispensam a fase de trituração do pneu, além de apresentarem poucas impurezas contidas nestes, tais como óleos, fibras de náilon e aço ou devidas ao uso do pneu.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da confecção de blocos de concreto intertravados (pavers), para a pavimentação em locais de baixo tráfego, com a incorporação de raspas de borracha, oriundas do processo de reformas dos pneus.

1.2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- ✓ descrever o sistema de calçamento com blocos de concreto intertravados, relatando suas vantagens;
- ✓ identificar os critérios exigidos por normas brasileiras, em relação aos blocos de concreto intertravados, para o uso dos mesmos na pavimentação de ruas e calçadas;
- ✓ realizar testes de desempenho dos blocos de concreto intertravados, do traço referência, comparando-os com os pavers com substituição parcial dos agregados, por raspas de borracha, verificando suas propriedades, no estado fresco e endurecido.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADOS

Os blocos de concreto intertravados, também chamados de pavers, possuem grande diversidade de formatos e cores (Figura 1), eles são blocos pré-fabricados de concreto, maciços, assentados sobre uma camada de areia e travados entre si por contenção lateral. O intertravamento, de acordo com (ABCP, 2010), é a capacidade que os blocos adquirem para resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, ou de rotação em relação a seus vizinhos.

Figura 1: Modelos de pavers para pavimentação intertravada



Fonte: www.decorlit.com.br

A camada de revestimento, composta por peças PPC (Peças Pré-moldadas de Concreto), é a superfície de desgaste e cumpre, ainda, uma importante função estrutural. Ela estabelece a condição de rolamento (conforto ao usuário), durabilidade do pavimento e contribui decisivamente para a função estrutural do pavimento (distribuição de tensões), por meio de suas características de intertravamento, além de suportar as tensões cisalhantes superficiais de contato das rodas dos veículos (MACIEL, 2007).

As peças pré-moldadas de concreto surgiram após a 2ª Guerra Mundial, durante a reconstrução da Europa, nesta época, os blocos de concreto imitavam os tijolos e pedras aparelhadas utilizados anteriormente, suas únicas vantagens eram o baixo custo e a homogeneidade dimensional. A partir de 1950, houve uma evolução dos modelos de fôrmas existentes para a fabricação dos pavers, disponibilizando

outros modelos de peças, principalmente com formatos dentados. No Brasil, a técnica de pavimentação com blocos cimentícios surge nos anos 70, ainda bastante incipiente, e muitas vezes sem obedecer a critérios técnicos mínimos (HALLACK, 2001 apud SERAFIM, 2010).

Desde a década de 1980, com a disponibilidade de equipamentos de grande produtividade, a indústria de pavimentos intertravados de concreto vem crescendo, em grandes proporções, em todo o mundo. O que era um material utilizado apenas em áreas para proporcionar melhores efeitos arquitetônicos ou paisagísticos, começou a dar lugar a um material versátil que possibilita a harmonização com qualquer tipo de ambiente, inclusive o rodoviário e o industrial, tanto esteticamente quanto estruturalmente (MÜLLER, 2005).

2.1.1 Vantagens

É possível destacar uma gama de vantagens, da pavimentação com blocos de concreto intertravados, citados por diversos autores, que são expostas a seguir:

O uso de blocos intertravados é abrangente, pois é viável em diversos lugares como praças, parques, jardins, ciclovias, calçadas, estacionamentos, vias urbanas, pátios, depósitos, galpões industriais, estradas, acostamentos, entre outros, devido as muitas opções de formato, padrões, cores e matrizes disponíveis, garantindo, assim, muitas possibilidades estéticas. Além disso, os sistemas de pré-fabricados são importantes agentes no processo de intensiva industrialização do setor de construção civil (FIORITI, 2007).

Para (HALLACK, 2001, apud SERAFIM, 2010), a pavimentação com blocos pré-moldados de concreto possui diversas vantagens como, qualidades estéticas, versatilidade do material, facilidade de estocagem e homogeneidade, além de outras características importante dos blocos intertravados citadas a seguir:

- permitem o uso imediato do pavimento logo após seu assentamento;
- possuem capacidade para manter a sequência do pavimento, mesmo quando sujeitos a acomodações do subleito;

- possibilitam fácil reparação, facilidade de acesso às instalações subterrâneas sem marcas aparentes, reutilização das peças, fácil execução, alta resistência a abrasão, resistência ao ataque de óleos e combustíveis, baixa manutenção;
- não há exigência de mão-de-obra e/ou equipamentos especiais, facilidade na incorporação de sinalização horizontal em função das peças coloridas;
- apresentam menor absorção da luz solar, além de ser o pavimento mais permeável, o que proporciona a microdrenagem das águas pluviais.

Já de acordo com Pagnussat (2004), este tipo de pavimentação contribui para a minimização dos efeitos das enchentes sobre as cidades, pois os blocos de concreto são semi-permeáveis e, assim, geram um acréscimo no coeficiente de escoamento superficial bem menor, se comparado com um pavimento de concreto impermeável.

2.1.2 Estrutura do pavimento intertravado

A pavimentação é composta por uma camada de blocos que constituem um revestimento de durabilidade e resistência, assentados sobre uma camada de areia. A camada superior deve suportar as cargas e tensões geradas pelo tráfego, de modo a proteger a camada inferior do desgaste por abrasão, buscando a melhor estabilidade possível (HALLACK, 1998 apud AMADEI, 2011).

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a estrutura final do pavimento intertravado é composta de acordo com os elementos apresentados na Figura 2.

Figura 2: Elementos que compõem o pavimento intertravado



Fonte: ABCP, 2001, apud FIORITI, 2007

Como visto na Figura 2, o pavimento intertravado é composto por uma sequência de camadas, sendo determinadas as espessuras e os materiais das camadas de subleito, sub-base e base do pavimento pelo dimensionamento de acordo com a necessidade de utilização da via. Determina-se também a espessura da peça de concreto a ser usada na camada de rolamento. Veja-se, a seguir, a descrição de cada uma dessas camadas:

a) Subleito:

O subleito é a camada do terreno com a terraplanagem já executada, sobre o qual será realizada a pavimentação, portanto, terá que suportar as cargas das camadas posteriores, devendo estar regularizado e compactado na cota do projeto, antes da execução da sub-base.

b) Sub-base:

A camada denominada sub-base, cujas funções são semelhantes a da base, dependendo do projeto, poderá ser dispensável. Ela, geralmente, é constituída de material puramente granular, podendo ser também de solo escolhido, solo brita ou tratado com aditivos, tais como o solo melhorado com cimento.

c) Base:

A camada de base é o componente estrutural que recebe as tensões distribuídas pela camada de revestimento. Sua função principal é proteger estruturalmente o subleito das cargas externas, evitando deformações permanentes e, conseqüente deterioração do pavimento (CRUZ, 2003). Pode ser construída de material granular, sem aderência, ou material estabilizado com cimento.

d) Camada de assentamento:

A camada de assentamento, também chamada de colchão de areia, tem a função de servir como base para o assentamento dos blocos, fornecendo regularidade final ao pavimento, pois acomoda suas eventuais tolerâncias dimensionais. Além disso, impede que possíveis trincas surgidas na camada de base, venham a surgir na camada de revestimento.

A areia utilizada nesta camada, geralmente, é a com disponibilidade mais próxima, porém, deve ser analisada se ela não virá a comprometer a função estrutural do pavimento, visto que o comportamento estrutural está diretamente ligado à espessura da camada, bem como à granulometria e ao índice de forma dos grãos.

e) Camada de rolamento:

A camada de rolamento é composta pelas peças pré-moldadas de concreto (PPC) e material de rejuntamento, que constituem um revestimento de durabilidade e resistência, assentados sobre uma camada de areia. A camada superior deve suportar as cargas e tensões geradas pelo tráfego, de modo a proteger a camada inferior do desgaste por abrasão, buscando a melhor estabilidade possível (HALLACK, 1998, apud AMADEI, 2011).

A capacidade de distribuição dos esforços da camada de revestimento depende, essencialmente, de sua espessura, formato e arranjo. Pode-se dizer que a resistência à compressão individual das peças possui pouca influência neste aspecto (HALLACK, 1998, apud MÜLLER, 2005).

A Camada de Rejuntamento garante o funcionamento mecânico do pavimento, influenciando o intertravamento e reduzindo a percolação de água entre as peças. Estas juntas não devem ultrapassar 5 mm, sendo utilizado para o acabamento junto as bordas e meios fios ou interrupções do pavimento (bueiros, caixa de inspeção, etc.).

As peças de concreto são assentadas, de forma manual ou mecanicamente, sobre a camada de areia, e compactadas; em seguida, espalha-se a areia para o preenchimento das juntas e compacta-se as peças, novamente, até que as juntas estejam totalmente preenchidas com areia. Dessa forma, o intertravamento das peças, estado desejável para o bom desempenho do pavimento, é obtido (HALLACK, 1998, apud GODINHO, 2009). No Brasil, o assentamento é dado por um processo manual, como mostra a Figura 3.

Figura 3: Assentamento manual dos blocos



Fonte: ABCP (2001) apud Amadei (2011)

Em 2011 entrou em vigor a ABNT NBR 15953/2011 – Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução. Esta norma técnica refere-se ao assentamento dos pavers em camada granular. Ela foi elaborada para guiar a execução deste tipo

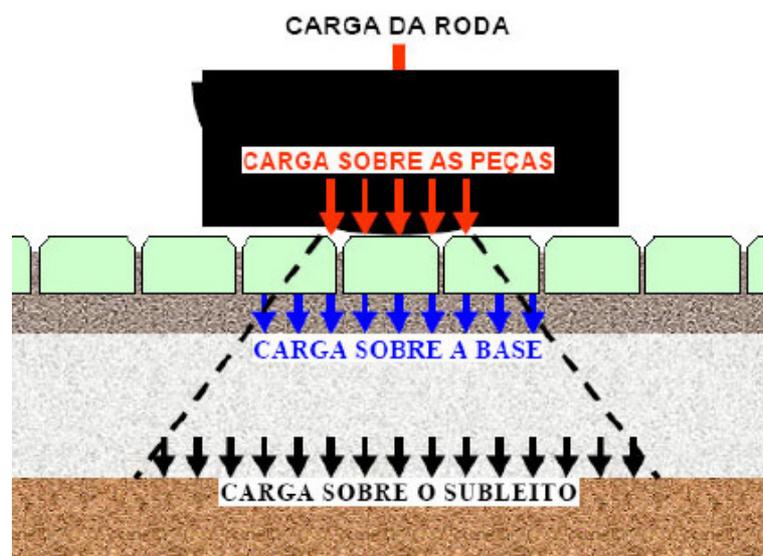
de pavimento, e assim, evitar que possíveis problemas na pavimentação, devido a aplicação mal feita do piso intertravado, recaia sobre o fabricante dos blocos (ITAMBÉ, 2011).

f) Contenção lateral:

A contenção lateral é composta de elementos de contenção com os meios-fios (ou guias). É indispensável, pois garante o confinamento das peças, evitando que o tráfego solte e separe as peças entre si, perdendo a condição de intertravamento (T & A Blocos e Pisos, 2004). Eles devem ser construídos antes do lançamento da camada de areia de assentamento, para que esta e os blocos fiquem confinados dentro de uma “caixa”.

Um bom travamento confere às peças de concreto a capacidade de transmitir as cargas superficiais aplicadas em pequenas áreas, ampliando-as a mais extensas nas camadas de base, mantendo as tensões no subleito dentro de limites admissíveis (ABCP, 2002). A Figura 4 demonstra a distribuição de tensões na estrutura de um pavimento intertravado.

Figura 4: Distribuição de tensões no interior de um pavimento intertravado



Fonte: Hallack, (1998), apud Müller, (2005)

2.1.3 Fabricação dos pavers

Diversos fatores, durante a fabricação dos pavers, podem interferir na qualidade dos blocos de concreto, como o tipo de máquinas e equipamentos, os materiais utilizados, a dosagem destes, e assim por diante (AMADEI, 2011).

2.1.3.1 Materiais

Para a fabricação de blocos de concreto, para pavimentação, os materiais utilizados são, basicamente, aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo, água e, por vezes, aditivo. Ou seja, os materiais empregados na produção dos blocos são os mesmos do concreto convencional, considerando que as diferenças são intrínsecas ao processo (SOUSA, 2001, apud FIORITI, 2007).

2.1.3.2 Processo de fabricação dos pavers e equipamentos utilizados

O processo de fabricação das peças pré-moldadas de concreto é dividido em dois grupos; manual e mecânico, sendo escolhidos de acordo com a necessidade de uso e produção.

No processo manual, a quantidade de moldes disponíveis e a qualidade da mão de obra determinarão a capacidade produtiva da indústria, pois o preenchimento dos moldes é realizado por via manual, utilizando um concreto de consistência plástica, geralmente sobre uma mesa vibratória. Neste processo, as PPC têm a vantagem de propiciar um excelente aspecto visual na superfície dos pisos, oriundo do tipo de molde utilizado (metal, PVC ou fibra de vidro) e da consistência plástica do concreto utilizado, porém, não é possível fabricá-las com homogeneidade das resistências mecânicas, as PPC fabricadas por este processo são também chamadas de paviess. Já no processo mecânico, a resistência e a durabilidade das PPC são obtidas por meio de alta pressão e cuidadosa regulagem de vibração dos equipamentos, especificamente projetados para a produção em escala, que necessariamente utiliza concreto com consistência seca. Os benefícios da produção em escala são, principalmente, o controle de homogeneidade das resistências mecânicas, textura e dimensões que podem ser exercidas durante a fabricação das peças, que neste caso, são denominadas pavers (CANAUD, 2007).

Os equipamentos utilizados no processo mecânico são as vibro-prensas

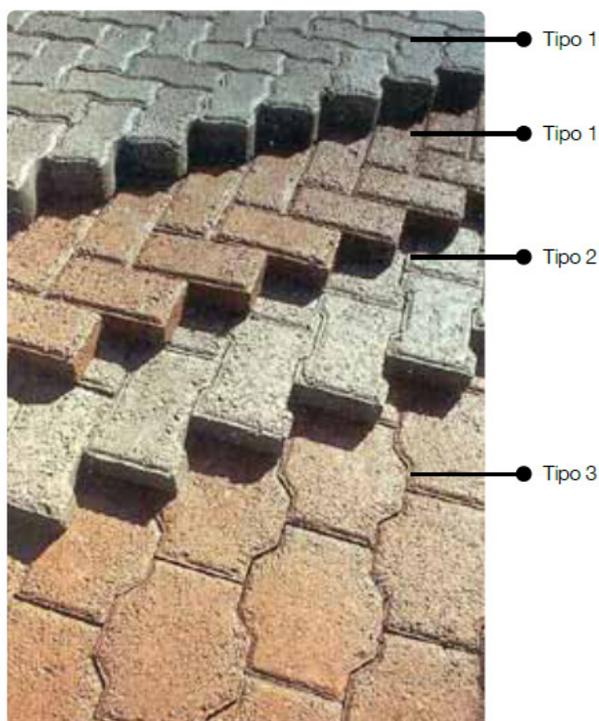
multifuncionais, assim chamadas devido ao tipo de mecanismo de funcionamento, em que a vibração é associada à prensagem. O processo de desforma das peças classifica as vibro-prensas em três tipos: vibro-prensa tipo poedeira, vibro-prensa com desforma sobre paletes e vibro-prensa com desforma de multi-camada. No processo manual os equipamentos utilizados são as formas manuais e a mesa vibratória. Geralmente os pavers são fabricados pelo processo mecânico, visto que é o mais indicado para produção em grande escala.

Após a moldagem, nas vibro-prensas, as peças são curadas em câmaras que mantêm constante a umidade relativa acima dos 95%. Isto garante a hidratação do cimento e proporciona menor absorção de água da peça, que deve ser menor ou igual a 6%. O período de cura na câmara gira em torno de 24 horas e a cura final no pátio depende de algumas condições industriais, ficando entre 7 e 28 dias (ABCP, 2010).

2.1.4 Tipologias

Existem várias tipologias de pavimentos intertravados com peças de concreto, considerando as variações de forma e cor das peças. Os com intertravamento horizontal são os mais usados atualmente, e a ABCP (2002) aponta três tipos diferentes de pavers com intertravamento horizontal, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5: Tipologias de blocos intertravados



Fonte: ABCP – Manual de pavimento intertravado: passeio público (2010)

- TIPO 1: peças de concreto segmentadas ou retangulares, geralmente com relação comprimento/largura igual a 2, que se entrelaçam nos quatro lados. Podem ser assentadas em fileiras ou em "espinha-de-peixe". Leves, são carregadas facilmente com apenas uma mão.
- TIPO 2: peças com proporções similares aos da categoria anterior, mas que se entrelaçam somente em dois lados. Só podem ser assentadas em fileiras. Também são leves: carregadas com apenas uma mão, têm em geral o formato em "I".
- TIPO 3: Peças de concreto com tamanhos maiores do que as categorias anteriores. Pelo seu peso e tamanho não podem ser carregadas com apenas uma mão. Têm formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triedros etc.). São assentadas seguindo-se sempre o mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.

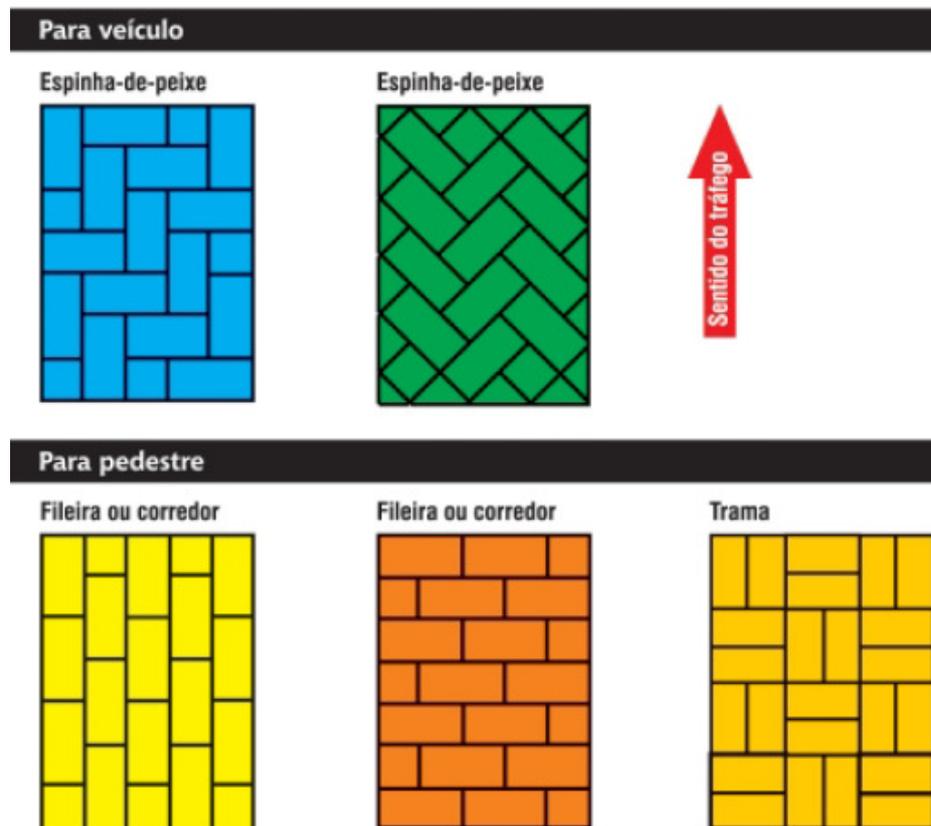
2.1.5 Espessura

Recomenda-se que as peças tenham espessuras mínimas de 6 cm para pavimentos com tráfego leve; de 8 cm para pisos submetidos ao tráfego de veículos comerciais; e de 10 cm para casos especiais (ABCP, 2002).

2.1.6 Arranjos

Os arranjos ou modelos de assentamento das peças pré-moldadas de concreto afetam significativamente a aparência estética e o desempenho dos pavimentos intertravados. Segundo a ABCP (2002), em condições de tráfego intenso, o arranjo "espinha-de-peixe" é considerado o mais adequado, devido à sua boa resposta frente ao fenômeno de "escorregamento" analisado em relação ao travamento horizontal. Já para calçadas, a recomendação é o arranjo tipo fileira/corredor ou trama. A Figura 6 ilustra alguns tipos de assentamentos.

Figura 6: Principais tipos de arranjos dos pavers



Fonte: ABCP (2002)

2.1.7 Norma Brasileira para Peças de Concreto para Pavimentação

Atualmente no Brasil, existe uma norma a respeito dos pavimentos intertravados de concreto, que é a ABNT NBR 9781/2013 - Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, esta norma foi validada a partir de 07 de fevereiro de 2013, ela substitui a ABNT NBR 9781/1987- Peças de concreto para pavimentação e também a ABNT NBR 9780/1987 - Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão.

A NBR 9781/2013, além de apresentar os métodos de ensaio, fixa condições as mínimas exigidas para a aceitação dos blocos de concreto para pavimentação intertravada sujeita ao tráfego de pedestres, veículos dotados de pneumáticos e área de armazenamento de produtos. Segundo a citada norma técnica, obrigatoriamente devem ser realizadas as seguintes avaliações.

a) Inspeção Visual

As peças de concreto devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos e devem ser livres de rebarbas defeitos, delaminação e descamação, devendo atender aspectos gerais, como ter espaçador de junta incorporado; O chanfro das peças de concreto chanfradas, tanto na projeção horizontal como na projeção vertical, deve ser de no mínimo 3mm e no máximo 6mm; as peças de concreto devem apresentar arestas regulares nas paredes laterais e nas faces superior e inferior; E o ângulo de inclinação das peças devem ser igual a 90°.

b) Avaliação dimensional

As peças de concreto devem ter dimensões dentro dos limites estabelecidos, comprimento de no máximo 250 mm, largura mínima de 97 mm e espessura de no mínimo 60mm. Sendo fixada as tolerâncias dimensionais de, ± 3 mm de comprimento, ± 3 mm de largura e ± 3 mm de espessura.

c) Absorção de água

A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

d) Resistência à compressão

A resistência característica à compressão aos 28 dias, deve ser maior ou igual a 35 MPa para solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, e maior ou igual a 50MPa para solicitações de tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

2.2 PNEUS

O pneu é o componente de interface entre o veículo e o solo, ele atua transmitindo e recebendo esforços provenientes de acelerações, desacelerações e de impactos (FREITAS, 2007). Surgiu em 1845, patenteado por R. W. Thonson, graças à descoberta casual em 1839 do processo de vulcanização da borracha por Charles Goodyear, deixando-a com características mais atrativas, como aumento do módulo de elasticidade, de sua dureza, de sua resistência à fadiga e à abrasão. No início os pneus eram feitos totalmente com borracha natural, obtida do látex proveniente de árvores e plantas, após a primeira guerra mundial, na Alemanha, surgiu a borracha sintética, produzida a partir de derivados do petróleo, porém como o material sintético é mais propenso à rachadura provocada pelo calor, os pneus são sempre constituídos de uma parcela de borracha natural.

A seguir para melhor entendimento deste trabalho, será descrito algumas definições em relação aos pneumáticos de acordo com a Resolução Conama N^o 416/2009. São elas:

- *Pneu ou pneumático*: componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado em uma roda de veículo e contendo fluido(s) sobre pressão, transmite tração

dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo.

- *Pneu novo*: pneu, de qualquer origem, que não sofreu qualquer uso, nem foi submetido a qualquer tipo de reforma e não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações, classificado na posição 40.11 da Nomenclatura Comum do Mercosul – NCM.
- *Pneu usado*: pneu que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste, classificado na posição 40.12 da NCM, englobando os pneus reformados e os inservíveis.
- *Pneu reformado*: pneu usado que foi submetido a processo de reutilização da carcaça com o fim específico de aumentar sua vida útil.
- *Pneu inservível*: pneu usado que apresente danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma.
- *Destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis*: procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outra(s) técnica(s) admitida(s) pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos.
- *Ponto de coleta*: local definido pelos fabricantes e importadores de pneus para receber e armazenar provisoriamente os pneus inservíveis.

2.2.1 Estrutura do Pneu

Desde a sua invenção, no século XIX, o pneu passou por muitas transformações até atingir a tecnologia atual, de acordo com Gomes (2007), o pneumático consiste em um tubo de borracha cheio de ar e ajustado ao aro da roda do veículo, permitindo a tração e, ao mesmo tempo, absorvendo os choques com o solo sobre o qual o veículo trafega.

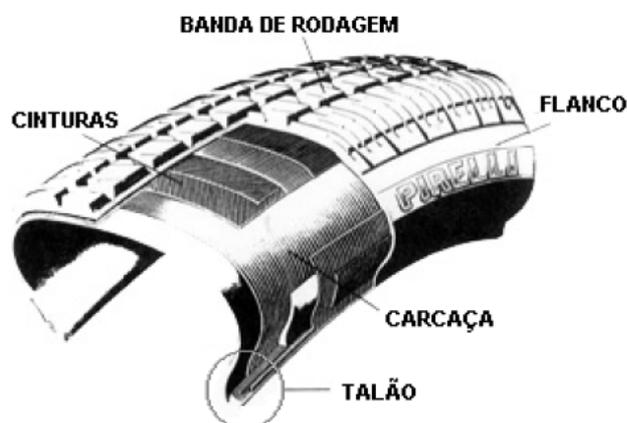
Atualmente os pneus são fabricados com vários componentes, que lhes proporcionam características necessárias para o seu bom desempenho e segurança. A maior parte dos pneus é feito com aproximadamente 10% de borracha natural, 30% de borracha sintética e 60% de aço e tecidos, que servem para fortalecer a estrutura do pneu (RAMOS, 2005). A borracha natural fornece as propriedades elásticas, enquanto que a sintética proporciona a estabilidade térmica do pneumático.

A principal fonte de extração comercial da borracha natural é um tipo de planta derivada da seringueira (*hevea brasiliensis*), representa 1/3 do consumo mundial de borracha, já a borracha sintética, um produto derivado do petróleo ou do gás natural, representa 2/3 do consumo mundial de borracha. Dos 15 milhões de toneladas de borracha (natural e sintética), consumidas anualmente no mundo, cerca de 9 milhões de toneladas se destinam aos pneumáticos (BNDES, 1998).

De acordo com PGIRPN (2011), os componentes utilizados para a fabricação da borracha necessária à produção de pneus têm uma mistura de borracha sintética, borracha natural, óleos, enxofre, negro de fumo, óxido de zinco, entre outros componentes químicos.

Segundo o BNDES (1998), os pneus para veículos de passeio são constituídos das seguintes partes: carcaça, talão, flancos e banda de rodagem, conforme a Figura 7.

Figura 7: Detalhe da estrutura do pneu



Fonte: Pirelli (2000) apud Kamimura (2002)

- 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 no sentido diagonal, umas das outras, nos pneus convencionais e radialmente nos pneus radiais. Nos pneus radiais é adicionada uma série de lonas, que cobrem a carcaça, denominada cintura, que estabilizam a carcaça radial. As lonas para pneus de carga (caminhões e ônibus) são sempre de aço.
- Talão: possui a forma de um anel, sua finalidade é manter o pneu acoplado firmemente ao aro, impedindo o vazamento do ar. É constituído por diversos arames de aço de alta resistência, unidos e recobertos por borracha.
- Flancos: constituem a parte lateral do pneu, a fim de proteger a carcaça contra os agentes externos. São constituídos por borrachas com alto grau de flexibilidade.
- Banda de Rodagem: é a parte do pneu que entra diretamente em contato com o solo. É feita por um composto de borracha com alta resistência ao desgaste, além disso, seus desenhos constituídos por partes cheias (biscoitos) e vazias (sulcos) proporcionam aderência, tração, estabilidade e segurança do veículo.

2.2.2 Classificação dos Pneus

Como dito, de acordo com a carcaça, os pneus estão classificados em dois grupos, radiais e convencionais (ou diagonais). Os radiais possuem maior teor de borracha natural, que lhes proporciona, aliado aos reforços estruturais e novos desenhos da banda de rodagem, maior resistência, durabilidade, aderência e estabilidade que os convencionais. Em função disso, apesar de apresentar custo mais elevado, a tendência mundial é de somente serem usados os pneus radiais, eles representam 97% da produção mundial de pneus de passeio, e 45% de participação na produção de pneus de caminhão e ônibus (BNDES, 1998).

Os pneus também podem ser classificados pela presença ou não de câmara de ar. Os que não possuem câmara a camada interna da carcaça possui uma camada de borracha denominada *liner* que garante a retenção do ar. Os pneus sem câmaras apresentam como principal vantagem o fator segurança, pois quando perfurados perdem o ar lentamente; além disso há o fato de apresentarem montagem e desmontagem mais rápida que os pneus que apresentam câmaras de ar (RAMOS, 2005).

2.2.3 Produção e Descarte de Pneus

O pneu tornou-se um artefato imprescindível e fundamental na sociedade moderna, por agilizar, dar comodidade e segurança no transporte de cargas e passageiros, por isso nas últimas décadas a demanda mundial vem crescendo vertiginosamente (ANDRADE, 2007).

Um estudo feito pela Universidade de Vrije, na Holanda, em janeiro de 1999, revelou que todos os dias são fabricados cerca de 2 milhões de novos pneus no mundo, significando uma produção anual de 730 milhões de pneus (WARMER, 1999, apud KAMIMURA, 2002). Já o descarte de pneus velhos chega a atingir 800 milhões de unidades anualmente (FIEP, 2002 apud, KAMIMURA, 2002).

No Brasil a indústria nacional de pneu vem apresentando crescimento na sua produção, segundo dados da ANIP em 1998 a produção era aproximadamente 38 milhões, já em 2011, foram produzidos cerca de 67 milhões de unidades, sendo estes destinados, 44,5% ao mercado de reposição, 23,9% a exportação e 31,6% as montadoras. A avaliação do desempenho do setor de pneumáticos indica que o Brasil importou quase a mesma quantidade de pneus que exportou, o que explica uma insustentabilidade linear que culmina no acúmulo de pneus inservíveis no país. (GOMES, 2007). Porém de acordo com a ANIP, em 2011 o Brasil exportou 17,4 milhões de pneus, contra 23,4 milhões importados, uma diferença significativa, que leva ao aumento do problema de pneus velhos.

Não foi encontrado nenhum dado quanto ao descarte anual de pneus no Brasil, mas como citado acima, 44,5% da produção de pneus no Brasil é destinada ao mercado de reposição, é provável que uma quantidade próxima deles sejam descartados, pois apesar de nem todo pneu repostado por um pneu novo ser

inservível, os que vierem a passar por processos de reforma provavelmente substituíram um pneu inservível, exceto em veículos de grande porte, onde a reforma é possível mais de uma vez.

2.2.3.1 Impacto Ambiental do Descarte de Pneus

O pneu inservível, é classificado segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 10004 (2004), como “Resíduo não Perigoso-Inerte (Classe II-B) que por sua vez são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. Mesmo assim, quando dispostos inadequadamente, constituem passivo ambiental, que podem resultar em sério risco ao meio ambiente e a saúde pública.

As consequências mais comuns de descartes inadequados de pneus são: o assoreamento dos rios e lagos, o risco de incêndio, a ocupação de grandes espaços em aterros como mostra a figura 8 e a proliferação de insetos que podem, inclusive, transmitir doenças graves (RAMOS, 2005).

Figura 8: Pneus inservíveis a céu aberto



Fonte: Ramos (2005)

2.2.4 Legislação Ambiental

A preocupação mundial com a crise nos aterros sanitários culminou com a implantação de leis determinando a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos. No Brasil, a geração, manuseio e reaproveitamento de resíduo são regulamentados por leis federais, estaduais e municipais que devem ser interpretadas conjuntamente, sendo fiscalizadas pelos órgãos governamentais FNMA, IBAMA e CONAMA (GOMES, 2007).

Para regulamentação da disposição final dos pneus inservíveis no Brasil, a fim de diminuir o passivo ambiental gerado pelo acúmulo do mesmo, o CONAMA, publicou as resoluções: Resolução Conama N^o 258/99, Resolução Conama N^o 301/02, e a Resolução Conama N^o 416/2009.

A Resolução n^o 258 de 26 de agosto de 1999, obrigou as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos a coletar e dar destinação ambientalmente adequada a uma quantidade crescente de pneus inservíveis existentes no território nacional, proporcional as quantidades fabricadas e importadas. Ficando proibido a partir da publicação desta resolução a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e queima a céu aberto. Para 2006, a proposta era que após avaliação procedida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, o CONAMA reavaliaria as normas e procedimentos estabelecidos nesta Resolução. Esta resolução foi alterada pela Resolução n^o 301/02, corrigindo assim a brecha deixada pela resolução anterior, quanto à entrada de pneus novos reformados e usados no país, reafirmando assim a obrigatoriedade da destinação final adequada de pneus novos ou reformado importados.

A Resolução n^o 416, de 30 de setembro de 2009, revoga as Resoluções n^o 258/ 1999 e n^o 301/2002, segundo ela, para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível, a reforma não é considerada destinação final, considera-se prorrogação da vida útil do pneu. O calculo do mercado de reposição de pneus é dado pela formula $MR = (P + I) - (E + EO)$, na qual

MR é o mercado de Reposição de pneus, P é o total de pneus produzidos, I é o total de pneus importados, E é o total de pneus exportados; e EO é o total de pneus que equipam veículos novos.

A partir do vigor das metas estipuladas pela resolução 258/99, foi notório as ações tomadas a respeito de uma solução quanto ao problema do descarte final do pneu inservível. Uma das medidas tomadas foi a criação da Reciclanip, com o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, este projeto foi implantado em 1999, pela ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), entidade que representa os fabricantes de pneus novos no Brasil. Segundos dados da ANIP, desde 1999, quando começou a coleta pelos fabricantes de pneus no Brasil, 1,86 milhão de toneladas de pneus inservíveis foram coletados e destinados adequadamente, o equivalente a 373 milhões de pneus de passeio. Para isso, os fabricantes de pneus já investiram US\$ 159,8 milhões no programa até dezembro de 2011, e a previsão de investimento para 2012 é de US\$ 41 milhões, mesmo valor investido no ano passado.

Mais recentemente, foi constituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada pela Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Entre os instrumentos da PNRS, para a preservação do meio ambiente e saúde humana, destacam-se a logística reversa, a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas e de novos produtos e incentivos fiscais, financeiros e creditícios. Ela impõem a responsabilidade pelos resíduos sólidos gerados ao gerador destes, compreendendo as etapas de acondicionamento, disponibilização para coleta, tratamento e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos. Para isso exige dos consumidores, que após consumirem produtos que estão sujeitos à logística reversa, entreguem estes, aos revendedores, comerciantes ou distribuidores, para que estes possam encaminharão aos fabricantes e importadores os produtos sob sua responsabilidade e na ponta do processo ou no final da cadeia logística reversa, fabricantes e importadores devem dar uma destinação adequada aos produtos.

2.2.5 Reforma do pneu

A fim de aumentar a vida útil do pneu, é comum eles passarem por processos de reforma, como a recapagem, recauchutagem e remoldagem. Estes processos consistem na substituição das partes do pneu danificado pelo uso. O pneu reformado permite minimizar custos de manutenção de frotas de veículos devido ao menor custo desse pneu em comparação aos novos, e também economia de matérias-primas obtidas através do petróleo e energia elétrica utilizadas na confecção de novos pneus (ANDRADE, 2007).

A recapagem é o processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem, a recauchutagem é processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem e dos ombros e, a remoldagem é processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície de seus flancos (Resolução 416/2009 – CONAMA).

Como já mencionado anteriormente, a reciclagem do pneu, pela recauchutagem e pela remoldagem, origina resíduos poluentes e se difícil degradação, as raspas de borracha. Tal fato tem levado o uso da borracha de pneu como agregado do concreto ser amplamente estudado.

2.3 ADIÇÃO DE BORRACHA EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS

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 (GRANZOTTO, 2010).

De acordo com (ACCETTI; PINHEIRO, 2000, apud FREITAS, 2007) a adição de fibras de borracha ao concreto atuam como barreira ao desenvolvimento das fissuras, pois durante o endurecimento da pasta as fibras de borracha interceptam as microfissuras e impedem sua progressão, evitando desta maneira, o seu surgimento prematuro.

Nos trabalhos realizados sobre o assunto é encontrado diferentes quantidades e tamanhos de agregado de borracha de pneu, fator que interfere nas modificações que ocorrem nas propriedades do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido, (TOPÇU, 1995, apud SEGRE, 1999), verificou que o uso de borracha com granulometria maior afeta as propriedades mecânicas mais negativamente do que quando se usa uma granulometria menor. Já no estudo de (NIRSCHL, 2002, apud FREITAS, 2007), no qual adicionou fibras de borracha ao concreto de diferentes granulometria, concluiu que as fibras de 0,8 a 2,38 mm proporcionaram propriedades mecânicas com valores superiores ao concreto contendo fibras com tamanho inferior a 0,8 mm.

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 (FIORITI, 2007).

2.3.1 Propriedades do Concreto com Borracha no Estado Fresco

No estado fresco do concreto com borracha as características que foram analisadas em vários trabalhos estudados, é principalmente a trabalhabilidade, seguido da massa específica.

Segundo (MEHTA; MONTEIRO, 1994, apud FIORITI, 2007), trabalhabilidade é uma propriedade composta de pelo menos dois componentes principais: a fluidez que descreve a facilidade de mobilidade e a coesão que descreve a resistência à exsudação ou a segregação.

A Seguir são relatados alguns trabalhos com adição de borracha de pneu no concreto, que descrevem a trabalhabilidade e a massa específica do mesmo.

Eldim e Senouci (1993), observaram que a trabalhabilidade do concreto

diminui após a incorporação da borracha, eles utilizaram a borracha de pneu com diâmetro de 1mm como substituição do agregado miúdo e borracha com diâmetros de 38, 25, 19 e 6mm em substituição ao agregado graúdo. Em outro estudo, MARTINS (2005), ao analisar a influência da granulometria das partículas, e verificar que a borracha fina causa menos prejuízo à resistência mecânica do concreto do que as demais, também verificou a trabalhabilidade do concreto com adição de resíduo de borracha, e assim como no trabalho descrito anteriormente, concluiu que ela diminuiu em relação ao concreto sem a adição deste resíduo (GRANZOTTO, 2010).

Albuquerque *et al.* (2006) ao analisar as propriedades do concreto com borracha, utilizando dosagens de 5 a 25% de borracha em substituição de parte do volume da areia, observaram que à medida que se aumentava a quantidade de resíduo no concreto o ar incorporado também aumentava, e conseqüente diminui o valor da massa específica. Além disso, o aumento do teor de elastômero diminuiu a trabalhabilidade do concreto aumentando assim, a demanda de aditivo superplastificante.

Fattuhi e Clark (1996) observaram ainda que a trabalhabilidade das misturas contendo borracha com granulometria mais fina foi ligeiramente melhor do que aquelas contendo uma granulometria mais grossa. Isto porque a borracha mais fina proporciona uma área de contato menor, e contém menos fibras têxteis (FIORITI, 2002).

São muitos os estudos descritos por (GRANZOTTO, 2010, FREITAS, 2007, FIORITI, 2002) entre outros, podendo-se concluir que a trabalhabilidade do concreto com adição de borracha de pneu diminui, a medida que se aumenta a teor de adição ou substituição deste resíduo, sendo que a granulometria também tem influencia nesta propriedade. A consistência deste pode chegar próximo a zero pelo abatimento do tronco de cone, tornando o concreto não trabalhável por mistura manual, mas podendo ser compactado com o auxílio de um vibrador mecânico.(KATHIB; BAYOMY, 1999, apud GIACOBBE; FIGUEIREDO, 2008). A massa específica, também diminui, pois é relatado nos trabalhos aumento da quantidade de ar incorporado ao concreto com borracha, o que contribui para perda da resistência da peça.

Porém FIORITI (2007) observa que a maneira como é realizado o ensaio, também pode influenciar os resultados, visto que segundo Raghavan, Huynh e Ferraris (1998), argamassas contendo resíduos de pneu mostraram trabalhabilidade próxima, ou melhor, que argamassas sem os resíduos de pneu, quando foram submetidas ao ensaio VeBe. Já Khatib e Bayomy (1999), observaram que no concreto realizando o ensaio de abatimento do tronco de cone, a mistura contendo resíduos de pneus apresentou pior trabalhabilidade que a composição sem os resíduos. Segundo Giacobbe e Figueiredo (2008) tal fato pode ser explicado devido à menor massa específica do concreto com adição de borracha, visto que este último ensaio depende da gravidade para obtenção do resultado, quanto menor a massa específica do concreto, menor o abatimento pelo tronco de cone.

2.3.2 Propriedades do Concreto com Borracha no Estado Endurecido

No estado endurecido do concreto com borracha as características necessárias ao concreto analisadas são: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, resistência ao impacto, durabilidade e absorção de água. Levando em conta de a resistência à compressão ser uma das características mais marcantes das composições a base de cimento Portland, esta foi a propriedade mais estudada.

A resistência à compressão é considerada índice de qualidade, pois esta relacionada com outras propriedades: módulo de elasticidade, durabilidade, absorção de água, etc. (SANTOS, 2005, apud GRANZZOTO, 2010). A seguir é descrito os resultados obtidos por diversos autores em relação as propriedades no estado endurecido do concreto.

A utilização de borracha de pneu moído como agregado foi estudada por Eldin e Senoucci (1993), que observaram perdas na resistência mecânica de 25% a 85%. Os autores também notaram que as perdas de resistência são menores quando é realizada a substituição do agregado miúdo (FREITAS, 2007).

Analisando a questão dos formatos de resíduos de pneus utilizados em concreto, Li et al. (2004); Albuquerque et al. (2002), observaram em relação ao desenvolvimento das propriedades mecânicas, um melhor desempenho daquelas

em forma de fibras ao invés daquelas do tipo granular (pó) (FIORITI, 2007).

A resistência à tração assim com a resistência à compressão sofre redução de valores, com a adição de borracha nos materiais com cimento Portland, mas não na mesma proporção. Essa redução na resistência à tração não é tão prejudicial, pois é sabido que o concreto não se apresenta como um bom material para resistir aos esforços de tração das estruturas, mas obviamente não pode ser desprezada.

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. Observou-se que a resistência à tração do material onde se utilizou 5% de borracha diminuiu 18% e decresceu com o aumento da porcentagem de borracha de pneu utilizada (GRANZOTTO, 2010).

O módulo de elasticidade, esta relacionado com a capacidade que o concreto tem de se deformar, sem romper, quando submetida a alguma solicitação, voltando à dimensão original, quando retirada tal solicitação. De acordo com Metha e Monteiro (1994), apud Fioriti (2007) o módulo de deformação do concreto está intrinsecamente ligado à fração volumétrica, à massa específica, ao módulo de deformação do agregado e da matriz de cimento Portland e às características da zona de transição.

A redução do valor do módulo de elasticidade no concreto com resíduos de pneu pode ser atribuída não só a elasticidade da borracha, mas também à redução de sua resistência, pois de acordo com Neville (1995), o módulo de elasticidade e a resistência à compressão são duas propriedades diretamente ligadas entre si. (FIORITI, 2007). Os estudos de Segre e Joekes (2000) e de Topçu (1995) descritos por FIORITI (2007) comprovam esta relação, pois relatam que assim com a resistência do concreto foi reduzida com adição de resíduo de pneu o módulo de elasticidade também diminui.

A resistência ao impacto é a capacidade que a peça tem de resistir a uma força concentrada, aplicado num tempo infinitamente pequeno. Assim, é fundamental que o material que compõe o elemento impactado tenha capacidade de sofrer deformações localizadas antes de transferir o esforço ao resto da estrutura. Esta deformação pode ser elástica ou plástica. Na deformação elástica há a

recomposição da região do impacto, enquanto na plástica a região de impacto fica danificada (SANTOS, 2005).

Na pesquisa realizada por Martins e Akasaki (2005), foi verificado que o Concreto com Adição de Borracha possui absorção de energia maior do que o concreto convencional, e que a absorção torna-se maior 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 (GRANZOTTO, 2010).

O concreto com substituição dos agregados graúdos do concreto por agregado de borracha passou a apresentar ruptura dúctil e não mais frágil, passando a ter grandes deformações antes da fratura. Tal fato se explica, devido a maior capacidade de absorção de energia do compósito contendo borracha (TOUTANJI, 1996, apud FREITAS, 2007). Com isso tem-se um aumento na resistência de impacto.

Também foi observado que a dimensão dos resíduos de pneus interfere na resistência ao impacto. Para Dhir, Paine e Moroney (2003), o uso de resíduos de pneu com dimensões maiores (8 - 2 mm) apresentou melhores resultados que os com dimensões menores (1,5 – 0,5mm).

A absorção de água em pastas de cimento Portland com resíduos de pneu foi analisada por Segre e Joeke (2000), sendo constatado que a absorção de água por capilaridade diminui nestas composições, fato coerente, pois a borracha de pneu é um material que não absorve água (FIORITI, 2007).

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 (Ca(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 (GRANZOTTO, 2010).

Por fim a durabilidade dos compósitos de cimento Portland com adição de resíduos de pneus, foi avaliada, sendo o ensaio de determinação da resistência à abrasão um bom indicador da durabilidade do material.

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 devido o CAB possuir menor resistência à compressão, é possível que ele tenha maior resistência à abrasão do que o concreto convencional (GRANZOTTO, 2010). Já Meneguini (2003), que substitui parte do agregado de argamassas por resíduos de pneus tratados com hidróxido de sódio, diz que o tratamento pode melhorar a resistência à abrasão em valores superiores a 40% (FIORITI, 2007).

De modo geral, na literatura sobre a adição de resíduos de pneus em pastas de cimento Portland, argamassas e concretos observa-se uma queda considerável na resistência à compressão, ocorrendo também diminuição na resistência à tração, porém esta em menor grau. Fatos estes que se acentuam quando utilizada a granulometria do resíduo mais grosso e de acordo com a quantidade de adição ou substituição usada. Outro fator observado no geral, é o modo de ruptura do concreto adicionado de resíduos de pneu, pois este não ocorre de maneira frágil, apresentando deformações maiores que os concretos sem resíduos dos pneus (FIORITI, 2007).

2.4 TRATAMENTOS DOS RESÍDUOS DE PNEU INCORPORADOS NO CONCRETO

Segundo diversos autores, a perda da resistência deve-se em parte a fraca aderência entre a interface da borracha e a pasta de cimento, fato que de acordo com diversos estudiosos pode ser minimizado com tratamentos nas partículas da borracha antes da adição ser feita ao material. Em sua tese, Segre (1999), sugeriu o tratamento superficial das partículas de borracha com solução de hidróxido de sódio (NaOH), o que gerou melhoras na aderência dos materiais.

Visando aumentar o incremento de aderência da borracha com a matriz de cimento, Rostami *et al.* (1993), apresentaram um tratamento superficial do resíduo, utilizando-se 10% de borracha, o concreto com borracha tratada com Tetracloreto de Carbono (CCl_4) 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% (GRANZOTTO, 2010).

A melhora da aderência com o tratamento superficial da borracha adicionada ao concreto, também foi observada por Albuquerque *et al.* (2006), melhorando principalmente a resistência à tração. Esse tratamento foi realizado por eles com: aditivo vinílico, aditivo acrílico e aditivo de estireno-butadieno.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

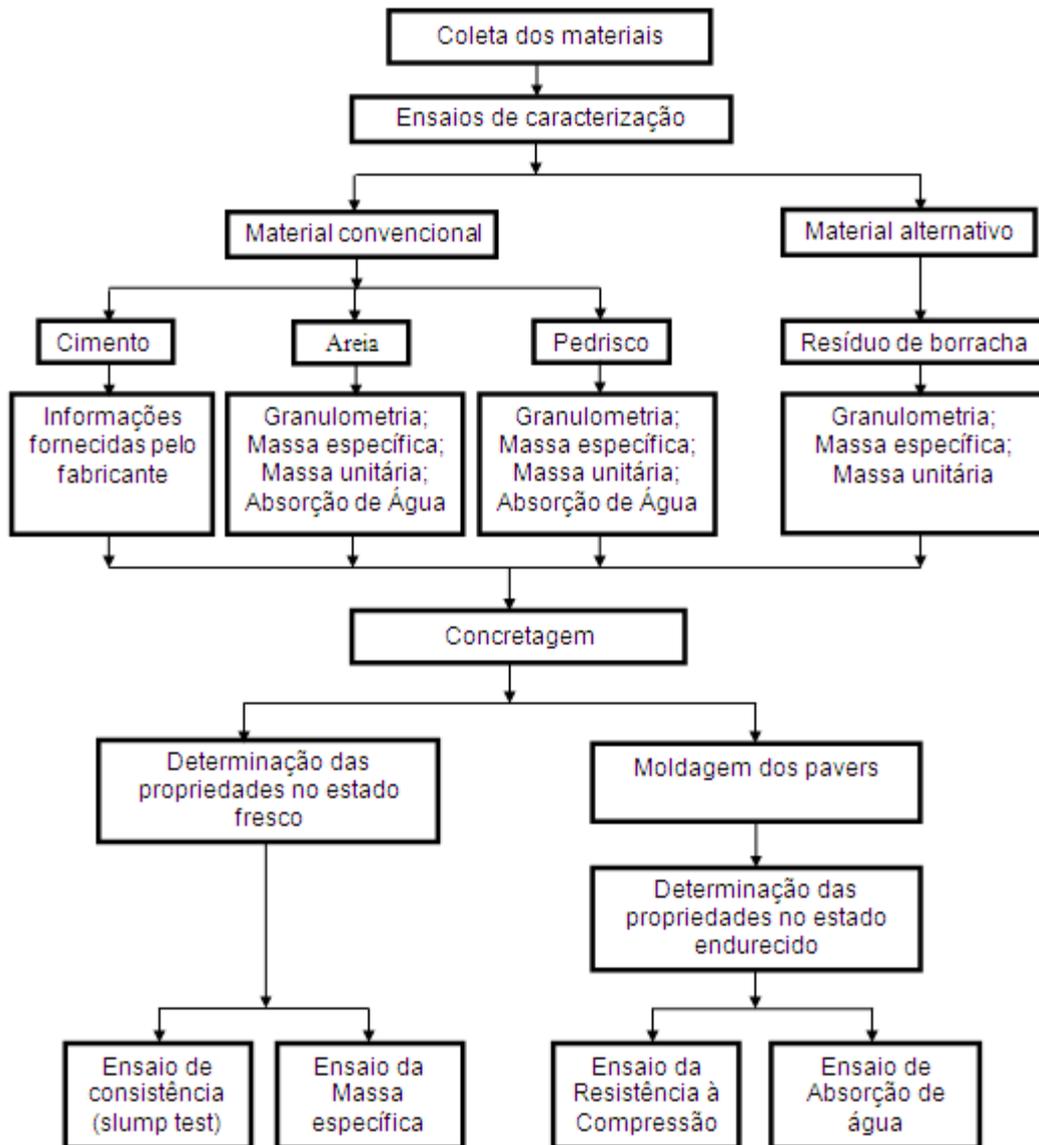
Neste capítulo, será descrito, os materiais, os equipamentos e os métodos experimentais utilizados neste trabalho, os quais foram definidos, de maneira a atender os objetivos estabelecidos no mesmo. O estudo experimental foi realizado em maior parte na laboratório da Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), sendo realizado o ensaio de resistência a compressão na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

O programa experimental desta pesquisa, foi dividido em seis etapas, assim especificados abaixo:

1. Definição dos materiais;
2. Caracterização dos materiais;
3. Dosagem dos traços, com e sem adição de resíduo;
4. Processo de fabricação dos pavers;
5. Ensaio para avaliação das propriedades do concreto no estado fresco;
6. Ensaio para avaliação das propriedades dos pavers.

A seguir mostra, a Figura 9 mostra, de forma esquemática, as etapas do programa experimental deste trabalho.

Figura 9: Fluxograma das etapas das atividades desenvolvidas



Fonte: Elaboração própria

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado para a produção dos blocos intertravados (pavers), foi o CPIV-32 (Cimento Portland Pozolânico, 32 MPa aos 28 dias). Este produto é normalizado pela ABNT NBR-5736/1999, na qual consta que sua composição típica é formada com cerca de (85-45%) de clínquer sulfato de cálcio + (15-50%) de material pozolânico + (0-5%) de material carbonático.

A escolha de se utilizar o CP IV, com característica de acordo com a tabela 1, para moldagem dos pavers, foi feita levando-se em consideração a facilidade de encontrar o material no comércio local, fato que não ocorre, por exemplo, com o CP V ARI cimento Portland de Alta Resistência Inicial, utilizado em peças pré-moldadas, como os pavers.

Tabela 1- Características física e química do cimento Portland pozolânico CP IV-32

DADOS TÉCNICOS DO FABRICANTE – CIMENTO PORTLAND CP IV-32	
Résíduo na peneira ABNT 200	< 8%
Tempo de início/fim de pega	1 hora/12 horas
Resistência à compressão aos 7 dias de idade	20MPa
Resistência à compressão aos 28 dias de idade	32Mpa
Característica principal	Baixo calor de hidratação

Fonte: Elaboração própria

3.1.2 Areia

A areia utilizada em todo o trabalho foi a areia média, de origem natural, proveniente do município de Manoel Viana, tida como areia do tipo quartzosa e classificada com agregado miúdo de acordo com os limites estabelecido pela ABNT NBR 7211/2009.

A caracterização da areia foi realizada de acordo com as normas relatadas a seguir.

A composição granulométrica foi determinada, conforme especificação da NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica; a determinação da massa específica foi realizada seguindo os procedimentos estabelecidas pela ABNT NBR 9776/1987: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapmam; a massa unitária, de acordo com a ABNT NBR NM 45/2006: Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios; e a absorção de água foi determinada de acordo com a NBR NM 30: agregado miúdo – Determinação da absorção de água.

3.1.2 Pedrisco

O agregado graúdo utilizado no traço foi a brita de número 0 (zero), denominada comercialmente como pedrisco, com granulometria dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211/2009. O material foi adquirido na Pedreira Pedra Rosada (Alegrete/RS). A caracterização deste material abrangeu os ensaios expostos a seguir, realizados de acordo com a norma, assim discriminados a seguir.

A composição granulométrica foi determinada, conforme especificação da ABNT NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica; a massa unitária, de acordo com a ABNT NBR NM 45/2006: Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios; a massa específica do agregado seco e a absorção de água do agregado foram determinadas segundo a ABNT NBR NM 53/2009: massa específica, massa específica aparente e absorção do agregado graúdo.

3.1.3 Resíduo de pneu

O resíduo que foi utilizado neste trabalho é proveniente da recauchutagem de pneus de caminhão. A amostra de borracha que foi raspada da banda de rodagem, foi doado pela empresa Latexsul Safra – veículos, do município de Alegrete –RS. Notou-se que a composição granulométrica desta era bastante diversificada em relação a suas dimensão, optou-se por utilizar apenas os resíduos com dimensões na faixa de 0,8 a 2,38mm, pois estudos já realizados por Nirchsh et al, 2002 apud Fioriti, 2007, com estas dimensões mostraram que fibras com tamanho inferior a 0,8 mm tem as propriedades mecânicas reduzidas.

A granulometria do resíduo foi escolhida definitivamente, após o processo de peneiramento de todo o material, para que assim fosse escolhido uma granulometria com quantidade suficiente para toda a pesquisa. Porém, como a amostra era pequena, após se obter-se a quantidade que se disponha de cada dimensão do resíduo, notou-se que nenhuma tinha quantidade suficiente para todo trabalho, com isso, optou-se por misturar os resíduos detidos na peneira com abertura 2,36mm, com os detidos na peneira com abertura de 1,18mm, como mostra a Figura 10.

O peneiramento serviu também para retirar da amostra impurezas que poderiam vir a influenciar no desempenho do concreto, como naylon e uma grande

quantidade de folhas pequenas, sendo que o nylon todo ficou retido na peneira com abertura de 0,60mm, enquanto que as folhas tiveram que ser retiradas, em parte, manualmente.

Para caracterizar este material, foi determinada a composição granulométrica, de acordo com a ABNT NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica; a massa unitária, de acordo com a NBR NM 45/2006: Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios; já a massa específica, foi determinada, devido a falta de norma específica, com dois diferentes procedimentos, o primeiro foi por meio do frasco de Chapmam, mesmo procedimento da areia, porém, com uma amostra em massa menor, para representar a parcela da borracha classificada como agregado miúdo e o segundo, para parcela que se enquadra como agregado graúdo, foi feito o ensaio segundo ABNT NBR NM 53/2009: massa específica, massa específica aparente e absorção do agregado graúdo. o Em ambas, ao invés de se utilizar água, foi utilizado álcool devido este apresentar menor massa específica, foi feita uma média ponderada, de maneira a considerar a quantidade de resíduo que se enquadra como miúdo e a que é considerada graúdo.

Figura 10 - Resíduo de borracha



Fonte: Elaboração própria

3.1.4 Água de amassamento

A água utilizada na produção dos pavers foi obtida da rede pública de

abastecimento de distribuição de água potável de Alegrete/RS.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Dosagem

O traço referência utilizado neste trabalho para confecção dos pavers foi calculado pelo método ABCP/ACI. Assim, foi adotada uma resistência requerida característica à compressão aos 28 dias de 35MPa, pois a ABNT NBR 9781/1987, válida até 2012, fixava as condições mínimas exigidas para a aceitação dos blocos de concreto e determinava esta resistência como sendo a mínima. E o abatimento do concreto, por se tratar de pavers fabricados manualmente, e que, portanto, não pode ser muito seco, para que este preencha a forma, foi adotado para os cálculos entre 60 a 80mm.

Porém, com a resistência requerida de 35MPa, o fator a/c ficou muito abaixo, em relação a alguns outros autores que já pesquisaram concreto com resíduo de pneu, sendo aumentado o fator a/c de 0,46 para 0,50, o que reduziu a resistência requerida para 31,5MPa segundo este método de dosagem. O consumo de água ficou na ordem de 225l/m³, enquanto que o consumo de cimento foi de 450 kg/m³, após os cálculos encontrou-se o traço 1: 1,72: 2,15: 0,50, a seguir foi feito o ensaio da consistência e verificado um abatimento acima do esperado (de 60 a 80mm), com isso a relação a/c foi novamente modificada, para 0,49.

Os traços com substituição parcial dos agregados por resíduos de borracha, foram obtidos com base no traço referência, apenas substituído a areia e o pedrisco em parte pela borracha triturada. O traço A é o traço de referência, ou seja sem nenhuma quantidade de fibra de borracha, no traço B, 6% do volume da areia e 2% do volume de pedrisco foi substituído por fibras de borracha, esta substituição representa 3,88% dos agregados, no traço C as porcentagens foram de 7,5% do volume da areia e 2,5% do volume do pedrisco, representando 4,85 do volume dos agregados, e por fim, no traço D foram substituídos 9% da areia em volume, e 3% do pedrisco em volume por resíduo, o qual representa 5,82% dos agregados. A tabela 2 mostra as porcentagens de cada traço da fibra de borracha.

Tabela 2 - Porcentagens das fibras de borracha nos traços

Traço	Volume de areia substituído por fibra de borracha (%)	Volume de pedrisco substituído por fibra de borracha (%)	% da fibra de borracha no vol total dos agregados	% da fibra de borracha no vol total do concreto
A	0	0	0	0
B	6	2	3,88	2,45
C	7,5	2,5	4,85	3,07
D	9	3	5,82	3,69

Fonte: Elaboração própria

A escolha de substituir o resíduo em maior proporção na areia, foi definida com base em trabalhos, os quais relatam que substituir percentuais de areia em maiores quantidades que os de pedrisco na incorporação dos resíduos de pneus, proporcionou ganho na resistência à compressão em relação ao concreto em que foi incorporado resíduo em maior parte no pedrisco e em menor proporção na areia.

A Tabela 3 e a Tabela 4, contém as quantidades de cada material que foram usados nos quatro traços, em percentagem e em Kg/m³, respectivamente.

Tabela 3 – Proporção dos materiais em percentagem, nos diferentes traços

Traço	Cimento (%volume)	Areia (%volume)	Pedrisco (%volume)	Resíduo (%volume)	Água (%volume)
A	14,59	29,74	33,52	0	22,15
B	14,59	27,96	32,85	2,45	22,15
C	14,59	27,51	32,68	3,07	22,15
D	14,59	27,06	32,51	3,69	22,15

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4 – Consumo dos materiais nas quatro dosagens

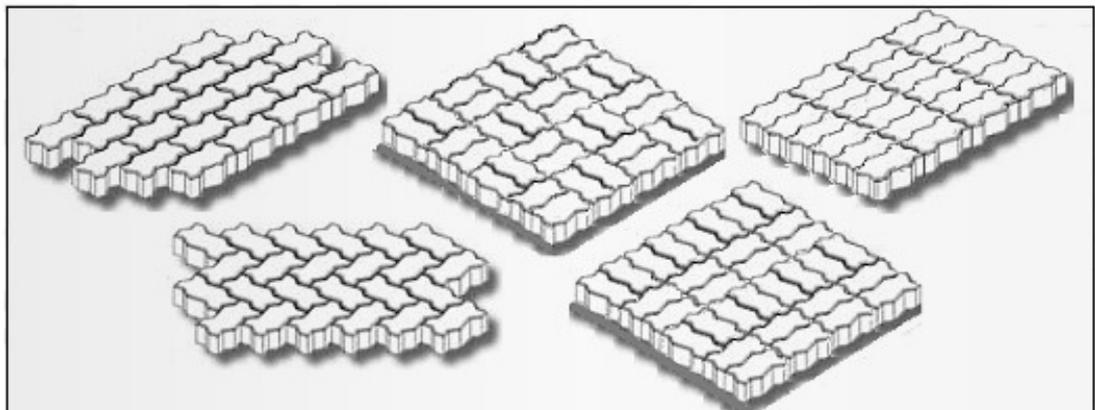
Traço	Cimento kg/m ³	Areia kg/m ³	Pedrisco kg/m ³	Resíduo kg/m ³	Água kg/m ³
A	456,25	789,32	980,94	0	223,56
B	456,25	741,96	961,33	36,51	223,56
C	456,25	730,12	956,42	45,64	223,56
D	456,25	718,28	951,52	54,77	223,56

Fonte: Elaboração própria

3.2.2 Fabricação

A fabricação dos pavers foi feita manualmente como já mencionado anteriormente, sendo utilizado neste processo, fôrmas de plástico, betoneira convencional e mesa vibratória. A fôrma escolhida foi a segmentada com 16 faces, com dimensões de 24 x 10 x 8 cm (comprimento, largura e altura respectivamente). Este formato é classificado pela ABNT, 2002 como tipo 1, pois se entrelaçam nos 4 lados. A opção, de ter sido usado este tipo de forma, se justifica justamente pelo fato de se entrelaçarem dos quatro lados, e assim oferecerem um melhor intertravamento dos pavers, além disso, possibilita que eles sejam montados em qualquer posição. A Figura 11 mostra os principais arranjos de assentamento em pavimento intertravado, são eles: fileira, espinha-de-peixe, trama e corredor.

Figura 11: Assentamentos típicos do pavimento intertravado



Fonte: www.dmbbonanzablocos.com.br

A mistura dos materiais foi realizada na betoneira mostrada na Figura 12, colocados na seguinte ordem após a imprimação da betoneira: pedrisco, metade da água, a areia, o cimento Portland, os resíduos de pneu e, por fim, a água restante. Logo após, as formas de plástico foram preenchidas e levadas a mesa vibratória para adensamento, Figura 13, a seguir, foi passada uma régua para retirar o excesso de concreto.

Figura 12: Resíduo de borracha



Fonte: Elaboração própria

Figura 13: (a) adensamento dos pavers na mesa vibratória; (b) mesa vibratória



(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria

O processo de desmoldagem dos blocos de concreto, como pode-se verificar na Figura 14, realizou-se com o auxílio de um martelo de borracha. Neste procedimento colocou-se duas régua metálicas em baixo da forma, para deixa-lá

uns milímetros acima da bancada de apoio e, com o martelo, bateu-se no fundo da forma, até o paver se soltar, fato que aconteceu com facilidade, porém, enfatiza-se que, para isto, passou-se óleo de cozinha, como desmoldante, nas fôrmas, antes de sua moldagem.

Figura 14: Desmoldagem dos pavers



Fonte: Elaboração própria

Após estes processos, os pavers, Figura 15, foram submetidos ao procedimento de cura por imersão, o qual procedeu-se em uma caixa de água, onde eles ficaram totalmente submersos, por 7 dias.

Figura 15: Pavers do traço B, antes de serem submetidos à cura



Fonte: Elaboração própria

Nos blocos que foram submetido ao ensaio de resistência à compressão, realizou-se o capeamento da superfície que não estava em contato com a forma, pois esta não ficou completamente lisa como a outra. O capeamento foi realizado com cimento, areia na proporção 1:1 e água, sem medida certa.

3.2.3 Ensaios para avaliação das propriedades no estado fresco

a) Consistência

A determinação da consistência do concreto para moldagem dos pavers, foi executada de acordo prescrições da ABNT NBR NM 67 (1998): Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. Os quatro traços estudados tiveram seu fator a/c definitivo determinado com este ensaio, a fim de obter-se concretos com abatimento estabelecido de 60 a 80mm, devido ao modo de fabricação dos blocos de concreto ser manual, no presente trabalho. Na Figura 16, é, mostrado a realização do ensaio de consistência de dois traços distintos, no qual o traço C é representado na parte 'a' e o traço B é representado na parte 'b'.

Figura 16: Medição do abatimento obtido, no ensaio de consistência pelo abatimento de tronco de cone



(a)



(b)

Fonte: Elaboração própria

b) Massa específica

A massa específica dos concretos executados foi determinada pelos procedimentos da ABNT NBR 9833(2008) Errata 1(2009): Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. O ensaio foi realizado em um recipiente como volume de $7,56 \text{ dm}^3$, este foi preenchido em 3 camadas iguais, cada camada foi adensado com 25 golpes com haste metálico, e com o martelo de borracha, bateu-se suavemente nas laterais externa, para fechar os buracos no concreto, causado pelos golpes, no final do último adensamento, quando necessário, completou-se com mais concreto, e realizou-se o rasamento da superfície com uma régua, ao final o recipiente foi limpado na parte externa. Após, foi pesado o recipiente com o concreto. A Figura 17, mostra alguns dos passos citados. A parte 'a' da figura mostra o adensamento da primeira camada, a parte 'b' a colocação da segunda camada e a parte 'c' a pesagem do recipiente totalmente completo.

Figura 17: Etapas da determinação da massa específica do concreto



Fonte: Elaboração própria

A equação 1, utilizada para determinação da massa específica aparente do concreto fresco, descrito na norma citada anteriormente ABNT NBR 9833/2009, e que foi utilizada neste trabalho é a seguinte:

$$Pap = \frac{Mrc - T}{V} \times 1000$$

Onde, Pap é a massa específica aparente do concreto fresco, expressa em Kg/m³, Mrc é a massa do concreto no recipiente, determinada em Kg, T é a tara do recipiente, também em Kg, e V é o volume do recipiente, em dm³.

3.2.4 Ensaios para avaliação das propriedades no estado endurecido

Para realização dos ensaios no estado endurecido, foram confeccionados, para cada traço 16 pavers, sendo 12 para realização do ensaio a compressão, 3 para o ensaio de absorção e 1 caso algum deles viesse a danificar-se no processo de desforma.

a) Resistência a compressão

A resistência à compressão dos pavers foi avaliada de acordo com as prescrições da ABNT NBR 9781 (2013): Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão. Esta norma assume que todas as outras características dos pavers estejam diretamente relacionadas com essa propriedade.

Os pavers foram ensaiados de modo que a carga foi sendo aplicada na direção do esforço em ele será solicitado, quando compor um pavimento intertravado, como mostra a Figura 18. Para este ensaio tentou-se alinhar o máximo possível o paver, de maneira que o seu centro de gravidade coincidissem com o alinhamento do centro de carga das placas aço da prensa, que possuem diâmetro de 90mm. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizado no município de Santa Maria – RS.

Foram rompidos 6 pavers para cada traço, aos 7 e aos 28 dias, a fim de atender a quantidade mínima exigida pela ABNT NBR 9781/2013.

Figura 18: Ensaio de compressão do paver



Fonte: Elaboração própria

Segundo a ABNT NBR 9781 (2013): Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, a resistência à compressão da peça em MPa, é obtida, dividindo-se o carregamento de ruptura, em N, pela área de carregamento, em mm, e multiplicando-se o resultado pelo fator “p”, função da altura da peça. No caso de peças com espessura de 80mm, o p vale 1. E a resistência à compressão característica estimada, é dada pela equação a 2:

$$f_{pk, est} = f_p - t \times s \quad \dots\dots(2)$$

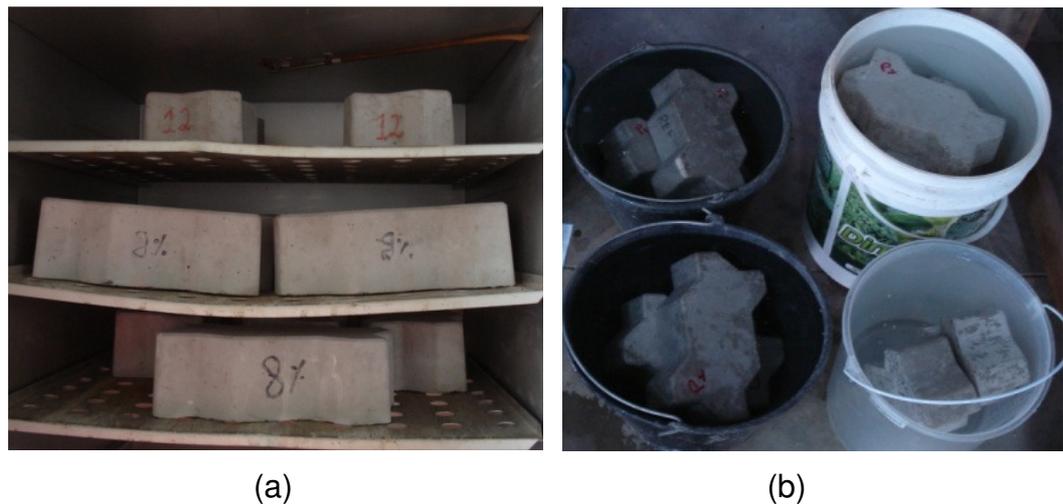
$$s = \left(\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1} \right)^{0,5}$$

Onde: f_p é resistência média das peças, expressa em MPa; f_{pi} é a resistência individual das peças, expressa em MPa; $f_{pk, est}$ é a resistência característica estimada à compressão, expressa em MPa; n é o numero de peças da amostra; s é o desvio padrão, expresso em MPa; e t é o coeficiente de Student, fornecido na norma, em função do tamanho da amostra, no caso desta pesquisa se trabalhou com 6 peças de amostra, então $t = 0,920$.

b) Absorção de água

A absorção de água indica o nível de porosidade de uma peça. Quanto menor a porosidade de uma peça, menor a quantidade de água que ela absorve, conseqüentemente maiores poderão ser suas resistências mecânicas e suas características técnicas (FIORITI, 2007). Este ensaio foi realizado de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 9781(2013) – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, porém ao invés de colocar os pavers em tanque de água, como fala a norma, eles foram submersos em baldes com água. Foram ensaiados 3 corpos de prova de cada traço, ao 28 dias. A Figura 19 mostra dois processos deste ensaio, na qual, no lado 'a' pode ser visualizada a secagem dos blocos na estufa e, no lado 'b', verifica-se o processo de saturação dos pavers.

Figura 19: Etapas do ensaio de absorção de água



(a)

(b)

Fonte: Elaboração própria

O porcentagem de absorção de água de cada paver, foi determinada pela equação 3.

$$A\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Onde

A: é a absorção de cada corpo de prova, expressa em %;

m_1 : é a massa do corpo de prova seco, expressa em g;

m_2 : é a massa do corpo de prova saturado, expressa em g.

Capítulo 4

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos na caracterização dos materiais e nos ensaios experimentais, realizados no estado fresco, e no estado endurecido, ou seja nos blocos de concreto, descritos no capítulo 3.

4.1 Caracterização dos materiais

4.1.1 Areia

A tabela 5, expõem os resultados da caracterização da areia realizada no presente trabalho.

Tabela 5 – Características da areia

Abertura nominal de Peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
6,30	0,00	0,00
4,75	0,00	0,00
2,36	0,40	0,40
1,18	1,40	1,80
0,60	3,90	5,70
0,30	43,30	49,00
0,15	46,20	95,20
FUNDO	48,00	100,00
TOTAL	100,00	
TOTAL/SÉRIE NORMAL		152,10
DIÂMETRO MÁXIMO (mm)		1,18
MÓDULO DE FINURA		1,52
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)		2,63
MASSA UNITÁRIA (Kg/m ³)		1404,76
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)		0,21

Fonte: Elaboração própria

4.1.2 Pedrisco

Na tabela 6 encontra-se os resultados da caracterização do pedrisco

realizada nesta pesquisa.

Tabela 6 – Características do pedrisco

Abertura nominal de Peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
19,00	0,00	0,00
12,50	0,30	0,30
9,50	3,00	3,30
6,30	29,10	32,40
4,75	33,30	65,70
2,36	34,00	99,70
1,18	0,30	100,00
0,60	0,00	100,00
0,30	0,00	100,00
0,15	0,00	100,00
FUNDO	0,00	100,00
TOTAL	100,00	
TOTAL/SÉRIE NORMAL		568,70
DIÂMETRO MÁXIMO (mm)		9,50
MÓDULO DE FINURA		5,69
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)		2,90
MASSA UNITÁRIA (Kg/m ³)		1320,1
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)		2,01

Fonte: Elaboração própria

4.1.3 Resíduo de pneu

Na tabela 7, encontra-se os resultados da caracterização do resíduo de pneu realizada no nesta pesquisa.

Tabela 7 – Características do resíduo de borracha

Abertura nominal de Peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
19,00	1,30	1,30
12,50	0,73	2,03
9,50	6,64	8,67
6,30	14,50	23,17
4,75	7,50	30,67
2,36	25,60	56,27
1,18	21,50	77,77
0,60	8,70	86,47
0,30	5,43	91,90
0,15	5,40	97,30
FUNDO	2,70	100,00
TOTAL	100,00	
TOTAL/SÉRIE NORMAL		450,35
DIÂMETRO MÁXIMO (mm)		12,50
MÓDULO DE FINURA		4,50
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)		1,48
MASSA UNITÁRIA (Kg/m ³)		322,75

Fonte: Elaboração própria

4.1 Consistência

O ensaio da consistência pelo abatimento do tronco cone, é um ensaio universal para estimar a trabalhabilidade do concreto, embora se saiba que não existe nenhum tipo de ensaio direto para determinar a trabalhabilidade, pois este depende de vários fatores como, facilidade de manuseio, adensamento, transporte etc. Nesse sentido, como já mencionado anteriormente, no cálculo da dosagem, foi fixado o abatimento do concreto entre 60 a 80mm, mesmo que para isso fosse necessário aumentar ou diminuir a quantidade de água, ou seja, a relação a/c. Assim, os resultados de consistência encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados do ensaio da consistência

Traço	Relação a/c	Abatimento (mm)
Traço A (sem substituição dos agregados)	0,49	8
Traço B (com 6% do volume da areia e 2% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	0,49	7
Traço C (com 7,5% do volume da areia e 2,5% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	0,49	6,5
Traço D (com 9% do volume da areia e 3% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	0,49	6

Fonte: Elaboração própria

Analisando estes resultados (Tabela 8), observa-se que não ocorreu o acréscimo na quantidade de água para manter o abatimento do concreto entre 60 a 80 mm. Percebe-se, ainda, que, como a quantidade de água manteve-se constante, em 0,49, fica impressão de que foi esta a variável a ser fixada.

Ainda de acordo com os resultados expostos na Tabela 8, é possível observar ainda que, com o aumento na porcentagem de resíduo de borracha, diminuiu o abatimento, ou seja, diminuiu a trabalhabilidade do concreto, fato que vai ao encontro da afirmação de Mehta e Monteiro, (1994) apud Santos, (2005), de que, independentemente do tipo de fibra, a perda na trabalhabilidade é inversamente proporcional a concentração volumétrica de fibras no concreto.

4.2 Massa específica

A massa específica referente a cada traço do presente trabalho encontra-se na Tabela 9. Comparando as massas específicas dos traços, nota-se um resultado coerente, pois, de acordo com o aumento da parcela de substituição dos agregados, por borracha triturada, tem-se uma queda na massa específica do concreto, visto que a massa específica do resíduo de pneu é menor que a massa específica dos agregados que foram parcialmente substituídos. Logo, os pavers fabricados com borracha incorporada, serão mais leves que os do traço referência.

Tabela 9 – Massa específica de cada traço

Traço	Massa específica aparente do concreto fresco (Kg/m ³)
Traço A (sem substituição dos agregados)	2362,43
Traço B (com 6% do volume da areia e 2% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	2285,71
Traço C (com 7,5% do volume da areia e 2,5% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	2275,13
Traço D (com 9% do volume da areia e 3% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	2269,84

Fonte: Elaboração própria

4.3 Resistência à compressão

A resistência à compressão, no concreto, é umas das propriedades mais importantes quando se avalia o comportamento de uma estrutura, em relação ao pavimento intertravado. Esta propriedade mecânica das peças de concreto classifica-as quanto ao uso, de acordo com a ABNT NBR 9781/2013, peças que apresentem resistência a compressão maior ou igual a 35MPa podem ser usadas para os tráfegos mais leves, e acima de 50MPa para locais em sujeitos a solicitações pesadas, portanto, as peças que com resistência inferior a 35MPa não podem ser usadas. A seguir, apresenta-se os resultados da resistência à compressão aos 7 dias, Tabela 10, aos 28 dias, Tabela 11, e a comparação entre estes resultados no Gráfico 1.

Tabela 10 – Resistência característica à compressão dos pavers aos 7 dias

Traço	Resistência característica à compressão (MPa)
Traço A (sem substituição dos agregados)	18,57
Traço B (com 6% do volume da areia e 2% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	14,79
Traço C (com 7,5% do volume da areia e 2,5% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	13,37
Traço D (com 9% do volume da areia e 3% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	12,12

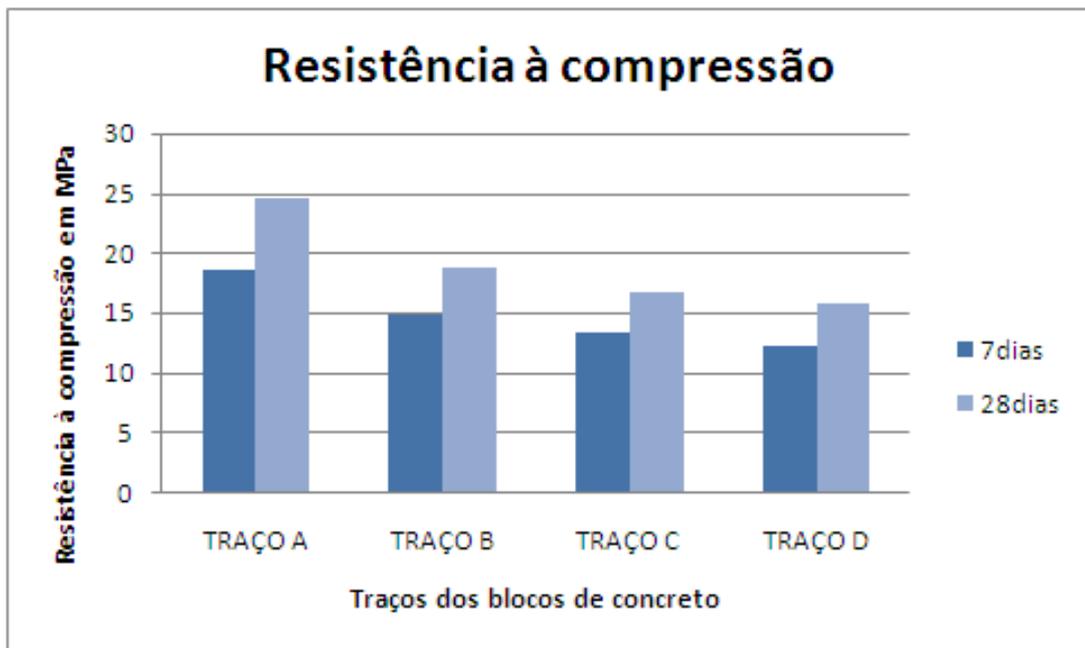
Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 – Resistência característica à compressão dos pavers aos 28 dias

Traço	Resistência característica à compressão (MPa)
Traço A (sem substituição dos agregados)	24,47
Traço B (com 6% do volume da areia e 2% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	18,75
Traço C (com 7,5% do volume da areia e 2,5% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	16,76
Traço D (com 9% do volume da areia e 3% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	15,69

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 1- comparação das resistências características à compressão



Fonte: Elaboração própria

O resultado da resistência à compressão característica, do traço referência, aos 28 dias, como mostra a Tabela 11, foi bem menor que a resistência projetada para o mesmo na dosagem, que foi de aproximadamente 32MPa, havendo um decréscimo significativo de 23,75%. Este fenômeno pode ter sido atribuído, ao fato de que se observou a formação de vazios nos pavers, embora não tão grandes, mas em grande quantidade, como mostra a Figura 20, o que indica o adensamento dos corpos de prova pode não ter sido eficiente.

Figura 20- Vazios observado no paver do traço referência



Fonte: Elaboração própria

Quanto aos traços com resíduo de borracha, houve decréscimo da resistência em todas as porcentagens, tanto aos 7 quanto aos 28 dias, sendo que a medida em aumentou-se a quantidade de resíduo no concreto, ocorreu a diminuição da resistência dos corpos de prova. No traço B, em que 6% do volume da areia e 2% do volume de pedrisco foram substituídos pelas fibras de borracha, representando assim as fibras uma porcentagem de 2,45% em relação ao volume total do concreto, ocorreu uma diminuição de resistência de 23,37% em relação ao traço referência. Já no traço C, em que 7,5% do volume da areia e 2,5% do volume de pedrisco foram substituídos pelas fibras de borracha, representando, assim, as fibras uma porcentagem de 3,07 em relação ao volume total do concreto, ocorreu uma diminuição de resistência de 31,51% em relação ao traço referência. E, por fim no traço D em que 9% do volume da areia e 3% do volume de pedrisco foram substituídos pelas fibras de borracha, representando, assim, as fibras uma porcentagem de 3,69 em relação ao volume total do concreto, ocorreu uma diminuição de resistência de 35,88% em relação ao traço referência.

Essa queda na resistência à compressão do concreto, provocada pela substituição parcial dos agregados por resíduos de borracha, já foi notada, por diversos autores, entre eles Fioriti (2007) e Granzotto (2010), é justificada por Fioriti (2007), o qual utiliza a afirmação de Neville (1995), que diz, quanto maior for a resistência e a massa específica dos agregados naturais, utilizados para produção de concretos convencionais, menor é a influência dos agregados sobre a resistência à compressão do concreto, uma vez que a resistência dos agregados supera a resistência da matriz”, e que portanto, ao se adicionar os resíduos de pneu no concreto dos pavers, ocorre a queda na resistência a compressão.

De acordo com Albuquerque *et al.* (2006), o aumento do teor de borracha, no concreto, resultou em um aumento gradual do teor de ar incorporado, fato que, logicamente, reduz a resistência do mesmo.

4.4 Absorção de água

Esta propriedade está relacionada com o volume de poros do concreto, ou seja, quanto mais o paver absorve água, significa que mais poros ele possui. A Tabela 12, mostra os resultados individuais de cada amostra, do ensaio de absorção de água e

a Tabela 12, apresenta os resultados médios do ensaio de absorção de água dos pavers.

Tabela 12- Absorção de água em cada amostra

Amostra	Absorção de água (%)	Amostra	Absorção de água (%)
Traço A - 1	3,84	Traço C - 1	3,92
Traço A - 2	3,84	Traço C - 2	3,92
Traço A - 3	4,34	Traço C - 3	4,48
Traço B - 1	4,44	Traço D - 1	4
Traço B - 2	4,43	Traço D - 2	4
Traço B - 3	3,96	Traço D - 3	4

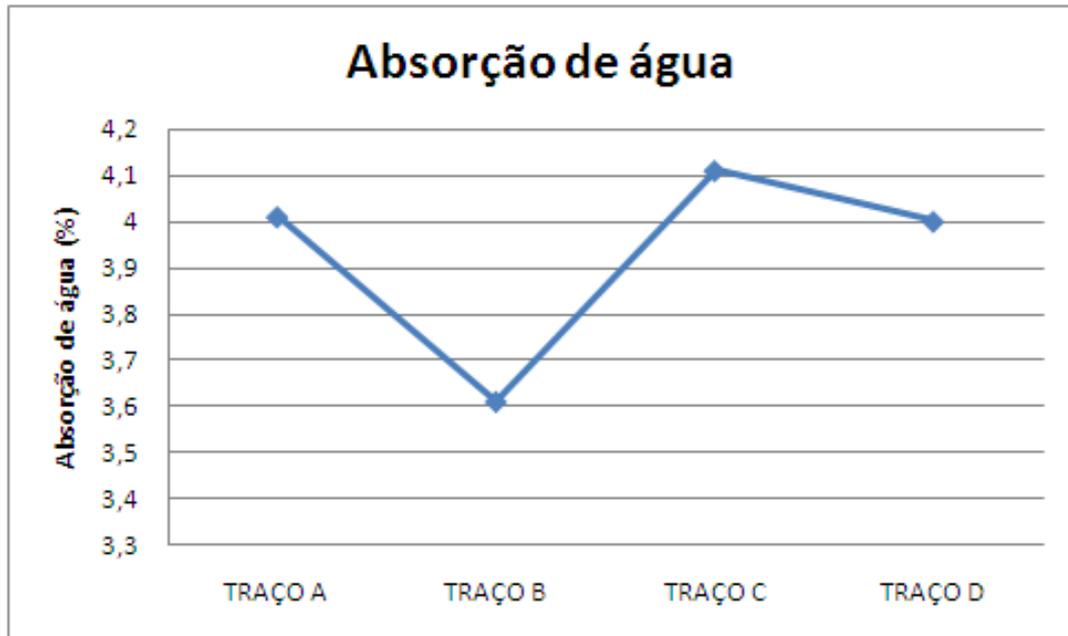
Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 – Absorção de água nas PPC

Traço	Absorção de água (%)
Traço A (sem substituição dos agregados)	4,01
Traço B (com 6% do volume da areia e 2% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	3,61
Traço C (com 7,5% do volume da areia e 2,5% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	4,11
Traço D (com 9% do volume da areia e 3% do volume do pedrisco substituído por resíduo de borracha)	4,00

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 2- Absorção de água



Fonte: Elaboração própria

No Gráfico 2 é possível observar que não existe uma linearidade entre os traços, e que não houve interferência significativa do resíduo de borracha nesta propriedade, onde o traço B foi o que menos absorveu água, o traço C apresentou maior porcentagem de absorção, enquanto o traço A e D, ficaram em intermediário, os quais obtiveram praticamente a mesma absorção de água. Além disso, nota-se de acordo com as tabela 12 e tabela 13, que todas as amostras, atenderam o limite estabelecido pela ABNT NBR 9781(2013)– Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, a qual relata que todas as peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior que 7%.

Capítulo 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

Por meio dos ensaios realizados no presente trabalho, para avaliar as propriedades do concreto, com substituição em partes da areia e do pedrisco por fibras de borracha, é possível concluir que:

- Em todos os traços, com adição de borracha, houve uma diminuição na trabalhabilidade, porém, com proporções não tão grandes, para as porcentagens adotadas na pesquisa, que são de 2,45%, 3,07%, 3,69% em relação ao volume total do traço, de modo que o abatimento no ensaio da consistência, ficou dentro do intervalo estabelecido, de 60 a 80mm, em todos os traços, não sendo preciso mexer no fator a/c, que ficou fixo em 0,49. Sendo que com a consistência conseguida, não houve problemas, quanto ao preenchimento da forma.
- A massa específica do concreto, diminui nos traços, a medida em que se aumentou a porcentagem de resíduo de borracha no mesmo, fato coerente pois a massa específica dos resíduos borracha é menor que as dos agregados substituído, além disso, apesar de neste trabalho não ter sido realizado o ensaio de teor de ar incorporado no concreto, o aumento no teor de ar incorporado em função da adição de borracha, é citado Albuquerque *et al.* (2006), como já mencionado anteriormente, e com esse aumento de ar no concreto, os vazios, ocorre a diminuição da massa específica da mistura. Essa diminuição na massa das peças trás a vantagem de reduzir, embora que em pequena proporção, a carga transmitida a base do pavimento intertravado.
- Encontrou-se, menor resistência à compressão das peças com resíduo de borracha, em todos os traços em relação ao referência, sendo que o decréscimo aumentou a medida em que elevou-se a quantidade de fibras no concreto.

- Todos os traços, inclusive o de referência não atingiram a resistência mínima a compressão de acordo com a ABNT NBR 9781/2013, que é de 35MPa, fato que só viria a acontecer se a resistência a compressão dos pavers tivesse aumentado com a adição de borracha, pois o traço referência acabou sendo dosado para 32MPa, ao invés de 35MPa. Fato que, como mencionado em diversos trabalhos, realmente não aconteceu, pois estas as adições de resíduos de borracha, em substituição aos agregados, diminui a resistência à compressão, como relatado no parágrafo anterior, fazendo que estes pavers possam ser usados apenas em lugares com cargas estritamente leves, como a circulação de pessoas e bicicletas, como cita o autor Fioriti (2007). Porém vale ressaltar que, por norma, não há exceção para o uso das PPC com resistência inferior a 35 MPa.

- Talvez os baixos valores de resistência à compressão dos pavers, ocorra devido ao alto consumo de cimento. Tal conclusão vem ao encontro da afirmação de Cruz (2003) que (trabalhou com consumos de cimento Portland variando de 270 Kg/m³ a 550 Kg/m³), afirmou que utilizando um consumo de cimento Portland maior que 420Kg/m³ o concreto dos pavers tem tendência a diminuir sua resistência à compressão. Este relato refere-se ao concreto seco, pois o concreto plástico, ainda de acordo com o mesmo autor, tem a resistência aumentada com o aumento do consumo de cimento, e como no presente trabalho, foi adotada uma consistência intermediária, fica-se a pergunta, será que ao invés de aumentar a resistência do concreto, o consumo de cimento foi tão elevado que acabou por reduzir esta propriedade.

- Levando em consideração o objetivo deste trabalho, que é diminuir a quantidade de resíduos de borracha, a fim de reduzir a poluição ambiental, tem-se como melhor opção de substituição a maior porcentagem, no caso 3,69, visto que o decréscimo é quase linear em relação a quantidade de borracha raspada no concreto, se forem utilizados intervalos pequenos de substituição para essa análise, por exemplo, 0,5%,1%,1,5% e assim sucessivamente, esse fato será comprovado.

- E, por fim, quanto à absorção de água, conforme já mencionado anteriormente, houve uma variação na porcentagem de absorção entre os traços de maneira aleatória. Porém, todos os traços atenderem com folga o limite máximo de absorção de água estabelecido pela ABNT NBR 9781/2013 que é de 6%.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Reduzir o consumo de cimento, a fim de tornar o concreto mais econômico, e com menor impacto ambiental, visto que a produção do cimento lança grandes volume de poluentes para a atmosfera. Além de verificar se o elevado consumo de 456 Kg/m³, não veia a diminuir a resistência do concreto.
- Utilizar cimento CPV ARI, que além de oferecer resistência nas primeiras idades, possui maior capacidade de resistência aos 28 dias que o CP IV-32.
- Estudar o utilização de aditivos para diminuir a resistência a/c, e assim aumentar a resistência dos pavers.
- Inverter as porcentagem de substituição da areia com o pedrisco, de modo que seja substituído o pedrisco em maior parte, pela fibra de borracha, este resíduo possui módulo de finura mais parecido com o do pedrisco.
- Verificar as propriedades do concreto, ao substituir maiores porcentagens de areia e pedrisco por fibra de borracha, a fim de dar destinação a uma quantidade maior de resíduos.
- Analisar a aderência entre a interface da borracha e a matriz de cimento, e estudar maneiras de melhorá-la, caso comprove-se que de fato ela é fraca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Manual Técnico para Implantação – Habitação 1.0. Bairro Saudável. População Saudável.** São Paulo, 2002.

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público.** São Paulo, 2010.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 9780: Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro (1987).

_____. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro (2003).

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro (2009).

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro (2009).

_____. **NBR NM 45: Agregados– Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro (2006).

_____. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro (2009).

_____. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone.** Rio de Janeiro (1998).

_____. **NBR 9833: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.** Rio de Janeiro (2009).

_____. **NBR 12118 - Versão Corrigida: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro (2011).

_____. **NBR 9454: Determinação da resistência ao impacto de piso cerâmico.** Rio de Janeiro (1986).

_____. **NBR 13818 - Errata 2: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro (1997).

_____. **NBR 15953: Pavimento intertravado com peças de concreto –**

Execução. Rio de Janeiro (2011).

_____. **NBR 5736 - Errata 1:Cimento Portland pozolânico.** Rio de Janeiro (1999).

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

AMADEI, D. I. B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do município de Juranda/PR.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2011.

ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização.** Monografia submetida ao Departamento de Ciências Econômicas para aprovação na disciplina CNM 5420. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

ANDRIETTA, A. J. **Pneus e o Meio Ambiente: Um grande problema requer uma grande solução.** Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/15706935/Pneus-e-Meio-Ambiente>. Acesso em: 10 de julho de 2012.

ANIP (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS). Disponível em: <http://www.anip.com.br/>. Acesso em: 8 de julho de 2012.

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Pneus.** BNDES: Áreas de Operações Industriais 2/ Gerência Setorial 2. Junho, 1998.

CANAUD, C. **Dossiê Técnico: Principais pisos utilizados na construção civil.** Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

CARVALHO, D. B. A. **Considerações sobre a utilização de pavimentos intertravados e betuminosos em áreas urbanas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

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://cempre.org.br/ft_pneus.php. Acesso em 10 de Julho de 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no. 258, de 26 de agosto de 1999. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>. Acesso em 30 de junho de 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no. 301, de 21 de março de 2002. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30102.xml>. Acesso em 30 de junho de 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no. 416, de 30 de setembro de 2009. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acesso em 30 de junho de 2012.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento**. Tese de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

DECORLIT SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS. Disponível em <http://www.decorlit.com.br/>. Acesso em 15 de junho de 2012.

DMB BONANZA: Blocos, revestimentos e artefatos de concreto. Disponível em: www.dmbbonanzablocos.com.br. Acesso em 25 de janeiro de 2013.

FIORITI, C. F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira – UNESP, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2002.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. São Carlos. 202p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico do concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia – PIPE. Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2007.

GIACOBBE, S.; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto de cimento portland com borracha de pneus**. Boletim Técnico – Série BT/PCC/513. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2008.

GODINHO, D. P. **Pavimento intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte 2009.

GOMES, C. V. F. **Levantamento do potencial de resíduos de borracha no Brasil e avaliação de sua utilização na indústria da Construção Civil.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Instituto de Engenharia do Par

GRANZOTTO, L. **Concreto com adições de borracha: Uma alternativa ecologicamente viável.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2010.

ITAMBÉ – Massa cinzenta. Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/nova-norma-de-execucao-destaca-virtudes-do-pavimento-intertravado/>. Acesso em 10 de Janeiro de 2013.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese (Livro Docência)– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

KAMIMURA, E. **Potencial de Utilização dos Resíduos de Borracha de Pneus pela Indústria da Construção Civil.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Política nacional dos resíduos sólidos.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>. Acesso em 5 de Janeiro de 2013.

MACIEL, A. B. **Dossiê Técnico: Pavimentos Intertravados.** Escola de Educação Profissional SENAI Vergílio Lunardi. Santa Rosa, 2007.

MÜLLER, R. M. **Avaliação de Transmissão de Esforços Em Pavimentos Intertravados de Blocos de Concreto.** Tese de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

MONTEIRO, M. A.; MATTIOLI, L. M. L.; FERREIRA, R. H. **PGIRPN (Plano de gerenciamento integrado de resíduos pneumáticos).** FEAM: Fundação Israel Pinheiro- 2. ed. Belo Horizonte, 2011.

PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição em blocos de concreto para pavimentação.** Dissertação de Mestrado em Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

PEC FORMAS: A sua fábrica de fôrmas. Disponível em: www.pecformas.com.br. Acesso em 18 de junho de 2012.

PURIFICAÇÃO, E. B. **Estudo do uso de agregados reciclados de Concreto e Substituição do Cimento por Resíduo de polimento de Porcelanato na produção de Piso Intertravado de Concreto.** Dissertação de Mestrado em Construção Civil. Programa de Pós- Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

PONTE, A.G.; OLIVEIRA, L.P. **Manual técnico de piso intertravado de concreto/ T & A Blocos e Pisos.** Fortaleza, 2004.

RAMOS, L. S. N. F. **A logística reversa de pneus inservíveis: o problema da localização dos pontos de coleta.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

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.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil. Maceió, 2005.

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

SERAFIM, M. A. **Estudo e proposição de formas de pavers intertravados para áreas e passeios públicos.** Dissertação de Mestrado em Design. Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2010.