

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**HELTTON EIDI KATUTA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO  
ASFÁLTICO EXECUTADO COM CONCRETO INCORPORANDO RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS**

**CURITIBA**

**2010**

**HELTTON EIDI KATUTA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO  
ASFÁLTICO EXECUTADO COM CONCRETO INCORPORANDO RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS**

Monografia apresentada para a obtenção do Título de Especialista em Construção de Obras Públicas no Curso de Pós Graduação em Construção de Obras Públicas da Universidade Federal do Paraná, vinculado ao Programa Residência Técnica da Secretaria de Estado de Obras Públicas/SEOP.

Orientador: Prof.Dr. Gilson Morales

**CURITIBA**

**2010**

TERMO DE APROVAÇÃO

HELTTON EIDI KATUTA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO  
ASFÁLTICO EXECUTADO COM CONCRETO INCORPORANDO RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Construção de Obras Públicas no Curso de Pós-Graduação em Construção de Obras Públicas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Públicas (SEOP), pela Comissão formada pelos Professores:

---

Profº Dr. Gilson Morales  
Profº. ORIENTADOR

---

Profº Dr. Gilson Morales  
Profº. TUTOR

---

Profº Dr. Hamilton Costa Junior  
Coordenador Curso Especialização em Construção de Obras Públicas

Curitiba, 16 de Dezembro de 2010

Dedico este trabalho a minha família e meus amigos que contribuíram para a superação de mais uma etapa da vida

## **AGRADECIMENTOS**

A toda minha família, pelo incentivo e pela força que me deram até chegar nesse momento, principalmente nos momentos mais difíceis, sobretudo neste ano.

A Kety Kimi Saito, pelo incentivo, pela paciência e compreensão nos momentos mais difíceis.

Ao amigo, Professor, Tutor Dr. Gilson Morales, por acompanhar mais esta etapa em meu aprendizado.

Ao amigo e chefe do Escritório Regional de Londrina da SEOP Walmir da Silva Matos, por contribuir no meu aprendizado pessoal e profissional.

Aos amigos e engenheiros do ER/ Londrina da SEOP, Flávio Formágio Fonseca, Olavo Roberto de Arruda Campos e Eduardo César de Barros, pelos ensinamentos profissionais e da vida.

Aos amigos Residentes Técnicos do ER Londrina Bárbara, Cristiane, Gislene, Helder, Renata e Sílvia, por esses dois anos de convívio, companheirismo e os “furacões” e alegrias.

A “turma da frente do ER Londrina” D. Cida, Rosângela e Talita, pelo companheirismo e convívio.

## RESUMO

Este trabalho avalia o desempenho de recuperação de pavimentos asfálticos executados com concreto incorporando resíduos sólidos urbanos. Os resíduos sólidos urbanos escolhidos foram: o resíduo de construção e demolição (RCD) e a raspa de pneu (AST). A avaliação foi feita através de ensaios como: extração de testemunhos, levantamento visual do estado do pavimento, mensuração dos danos ocorridos ao longo do tempo, avaliação da região contígua à zona de reparo, identificação dos traços e materiais empregados e adequação dos traços empregados. Os testemunhos extraídos foram ensaiados para determinar a sua resistência à compressão, medição da carbonatação. Foram propostos novos traços, com diferentes composições de resíduos e foram executados corpos-de-prova com os novos traços utilizando o concreto convencional e o concreto com agregados reciclados, sendo realizados para estes novos traços os ensaios de compressão, abatimento de tronco de cone e módulo de elasticidade.

**Palavras-chave:** avaliação de desempenho, resíduos sólidos urbanos, pavimento de concreto, RCD, AST, manutenção em pavimentos asfálticos.

## ABSTRACT

This research evaluates the performance of concrete pavement recuperation, incorporating solid urban residues. The chosen residues were: construction demolition residue (RCD) and rubber tire reuse (AST). The evaluation was made through tests, such as: proof extractions, visual evaluation of the pavement, measurement of damages in a certain amount of time, evaluation of the damaged zone, dosage and material identification, and adaptation of dosages. These extracted proofs were put to determine their compression resistance and carbonatation. New dosages were proposed, with different compositions of residues, and new proof bodies were executed with the new dosage using conventional concrete and concrete with recycled materials, being tested through compression tests, cone tests and the elasticity module.

**Key words:** Performance evaluation, urban solid residues, residues of demolitions and constructions, RCD, AST, maintenance in asphalt pavements.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Levantamento de patologias – Placa 1	32
Tabela 4.2 – Levantamento de patologias – Placa 2	33
Tabela 4.3 – Levantamento de patologias – Placa 3	34
Tabela 4.4 – Levantamento de patologias – Placa 4	35
Tabela 4.5 – Levantamento de patologias – Placa 5	36
Tabela 4.6 – Levantamento de patologias – Placa 6	37
Tabela 4.7 – Levantamento de patologias – Placa 7	38
Tabela 4.8 – Distribuição das porcentagens de cada traço	42
Tabela 5.1 – Fatores de correção para corpos-de-prova cilíndricos em função da relação altura/diâmetro	44
Tabela 5.2 – Valores das resistências e do fator de correção	47
Tabela 5.3 – Comparação das resistências aos 7 e 1253 dias	48
Tabela 5.4 – Resultados do ensaio de carbonatação	50
Tabela 6.1 – Apresentação dos resultados dos ensaios	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Disposição de RCC nas margens do rio Pirajussara em São Paulo-SP	18
Figura 2: Disposição irregular de pneus.	20
Figura 3: Queima de pneus em terreno, gerando transtornos urbanos.	20
Figura 4: Placa 1 constituída de concreto simples sem adição de agregados especiais	33
Figura 5: Placa 2 utilizando concreto com adição de raspas de pneu	34
Figura 6: Placa 3	35
Figura 7: Placa 4 utilizando concreto com 20% de raspas de pneus em relação à massa de areia	36
Figura 8: Placa 5 utilizando concreto com 7,5% de raspas de pneus em relação à massa de areia	37
Figura 9: Placa 6 utilizando concreto com adição de 6% de raspas de pneus em relação à massa de areia	38
Figura 10: Placa 7	39
Figura 11: Vista geral da região contígua à zona de reparo	40
Figura 12: Ruptura à compressão com testemunho	46
Figura 13: Fenolftaleína e testemunhos	49
Figura 14: Testemunho com carbonatação detectada	49
Figura 15: Prensa Universal para a realização do ensaio de Módulo de elasticidade	51
Figura 16: Ensaio de Módulo de Elasticidade em andamento	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAEE/SP	Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo
COMLURB/RJ	Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
AST	Automotive Scrap Tyres
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
NBR	Norma Brasileira
ARC	Agregado de Resíduo de Concreto
ARM	Agregado de Resíduo Misto
HPCP	High Performance Concrete Paving
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
BMP	Borracha Moída de Pneus
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CTU	Centro de Tecnologia e Urbanismo
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standards
SEOP PR	Secretaria de Estado de Obras Públicas do Paraná

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ESCOLHIDOS</b>	<b>17</b>
1.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)	17
1.2 PNEUS INSERVÍVEIS	18
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>21</b>
2.1 IMPORTÂNCIA DA ECO-92 E DA AGENDA 21	21
2.2 A NBR 10004 E NBR15116	22
2.3 UTILIZAÇÃO DE RCC COMO AGREGADO PARA CONCRETOS	23
2.3.1 UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO	24
2.3.2 UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO	24
2.4 USO DO CONCRETO EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	25
2.4.1 PAVIMENTOS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - CAD	25
2.4.2. PAVIMENTOS DE CONCRETO SOBREPOSTOS ( <i>WHITETOPPING</i> )	26
2.5 UTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	28
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>MATERIAIS E MÉTODO</b>	<b>29</b>
3.1 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS	29
3.2 LEVANTAMENTO VISUAL DO ESTADO DO PAVIMENTO	29
3.3 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO DA SITUAÇÃO <i>IN SITU</i>	30
3.4 MENSURAÇÃO DOS DANOS OCORRIDOS AO LONGO DO TEMPO	30
3.5 AVALIAÇÃO DA REGIÃO CONTÍGUA A ZONA DE REPARO	30
3.6 IDENTIFICAÇÃO DOS TRAÇOS E DOS MATERIAIS EMPREGADOS	31
3.7 UTILIZAÇÃO DE NOVOS TRAÇOS	31
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>RESULTADOS</b>	<b>32</b>
4.1 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS	32
4.2 LEVANTAMENTO VISUAL E FOTOGRÁFICO DO ESTADO DO PAVIMENTO	32

4.3 MENSURAÇÃO DOS DANOS OCORRIDOS AO LONGO DO TEMPO	39
4.4 AVALIAÇÃO DA REGIÃO CONTÍGUA À ZONA DE REPARO	40
4.5 IDENTIFICAÇÃO DOS TRAÇOS E DOS MATERIAIS EMPREGADOS	41
4.6 UTILIZAÇÃO DE NOVOS TRAÇOS	42

## **CAPÍTULO 5**

<b>ENSAIOS COM TESTEMUNHOS</b>	<b>44</b>
5.1 ENSAIOS COM TESTEMUNHOS PEQUENOS	45
5.2 RUPTURA À COMPRESSÃO	45
5.2.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
5.3 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO	48

## **CAPÍTULO 6**

<b>ENSAIOS COM NOVOS TRAÇOS</b>	<b>51</b>
6.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS	52
6.1.1 RUPTURA À COMPRESSÃO	52
6.1.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE	53

<b>CONCLUSÕES</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>56</b>

## INTRODUÇÃO

Os pavimentos flexíveis são utilizados em larga escala no Brasil e devido ao tráfego intenso, é preciso recuperar os mesmos, podendo ocorrer sérios danos no pavimento caso não seja feita manutenção periódica, chegando a condições críticas de uso.

A ausência de manutenção periódica, aliada ao tráfego intenso, variação de temperatura, entre outros fatores, aumenta o processo de degradação dos pavimentos asfálticos, tornando sua recuperação mais onerosa ou até mesmo irreversível. As manutenções periódicas dos pavimentos têm como importância garantir o tempo de utilização do mesmo, sua resistência, evitar fissuras e deformações precoces.

Atualmente, na maioria das cidades, segundo Morales (2000), a recuperação de pavimentos flexíveis ocorre de maneira bastante rudimentar, sendo lançado o agregado com uma pá nas cavidades de formato irregular, seguido de leve compactação. O procedimento para executar o serviço corretamente seria da seguinte maneira:

- Retirada de todo material em estado de desagregação, com posterior regularização da superfície a ser tratada;
- Lançamento de uma camada de imprimação que consiste na pintura à base de material betuminoso;
- Lançamento de uma pequena camada de brita com granulometria adequada e aglomerante asfáltico para preenchimento da área a ser recuperada.
- Lançamento de nova pintura e execução da última camada com um agregado graúdo de baixo módulo de finura que tem como finalidade regularizar a superfície.

O procedimento utilizado na maioria das cidades de acordo com Morales (2000) leva a uma rápida desagregação do material, voltando a danificar o pavimento, desperdício de materiais e danos na parte inferior dos veículos, assim como acidentes de trânsito.

Segundo a Norma DNER 16, *Whitetopping* é definido como um pavimento de concreto de cimento Portland superposto a um pavimento flexível existente, cuja função é atuar como camada de reforço. Segundo Assumpção et al. (2001), esta técnica é utilizada há algumas décadas nos EUA em corredores de tráfego pesado. O projeto é dimensionado de acordo com as teorias de pavimentos de concreto não sendo considerada a aderência entre o pavimento existente e o concreto a ser utilizado no reforço.

Foi desenvolvida uma pesquisa por Morales (2000), com objetivo de viabilizar o uso de resíduos sólidos urbanos em concretos para a recuperação de pavimentos asfálticos aplicados nas cavidades onde havia pavimento deteriorado. Os resíduos sólidos urbanos escolhidos foram o RCD (resíduo de construção e demolição) com a incorporação de raspas de pneu provenientes da recauchutagem, ou AST (Automotive Scrap Tyres).

Os resíduos da construção são constituídos por compostos de materiais bastante heterogêneos como plásticos, argamassas, madeiras, materiais cerâmicos, metais, gessos, vidro, concreto, entre outros materiais.

Para este trabalho foram escolhidos os resíduos de construção civil - RCC originados de compostos cimentícios, como concreto, argamassa, bem como, materiais cerâmicos, dentre os quais, telhas, pisos, pastilhas de revestimento, entre outros.

O uso do agregado reciclado de concreto, proveniente da demolição de estruturas de concreto armado, deve estar britado e livre de metais, no caso as armaduras.

No Brasil, nos últimos anos, tem-se observado um aumento nos reparos em obras em engenharia, principalmente pavimentação. Como consequência da falta de manutenção periódica, os custos para reparo dos mesmos prejudicam a construção de importantes empreendimentos públicos fundamentais para o desenvolvimento do país. Segundo Assumpção et al. (2001), é necessário que se façam pavimentos com nível de qualidade superior aos padrões especificados em norma, melhorando a vida útil dos mesmos.

Segundo Assumpção et al. (2001), o reparo e reforço de pavimentação asfáltica ocorrem, em média, a cada 05 anos após liberação ao tráfego. Para

pavimentos com tráfego intenso, o tempo é reduzido, caso haja alterações das condições previstas em projeto.

## 1 JUSTIFICATIVA

Esta alternativa para a recuperação de pavimentos asfálticos, utilizando resíduos de construção e demolição, concilia a sua utilização com o uso de raspas de pneus, agregando valor a materiais que são jogados em terrenos, fundos de vale, aterros sanitários, rios, entre outros, indo de encontro à política de desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil.

A incorporação destes resíduos ao concreto de cimento Portland, além de ir de encontro à política de desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil, pode aumentar a disponibilidade de materiais, melhorar as técnicas empregadas na recuperação, melhorar as finanças públicas dos municípios e gerar empregos.

Este trabalho faz uma avaliação de desempenho de recuperação asfáltica empregados no trabalho feito por CUGLER (2004).

## 2 OBJETIVOS

Como objetivo geral pretende-se avaliar a alternativa de recuperação de pavimento asfáltico utilizando concreto produzido com materiais alternativos, como RCC e raspas de pneus. Os objetivos específicos serão descritos a seguir:

- identificar e caracterizar traços de concreto incorporando RCC e raspas de pneus;
- proceder a análise visual do pavimento recuperado *in situ*;
- propor alterações nos traços utilizados.

# CAPÍTULO 1

## CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ESCOLHIDOS

### 1.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

Segundo Pinto (1999), a aceleração do processo de urbanização e a diminuição das matérias-primas consumidas pela indústria da construção civil nos últimos anos, colocaram em evidência o enorme volume de resíduos de construção e demolição que vem sendo gerado nas cidades e a falta de matéria-prima em regiões próximas aos grandes centros urbanos.

A geração de RCC *per capita* pode ser estimada pela mediana como 500 kg/hab.ano em algumas cidades brasileiras (PINTO, 1999). Segundo dados do IBGE (2010), a população brasileira é de 192 milhões de habitantes, sendo que 160 milhões vivem no meio urbano. Segundo estimativa de Angulo et al (2002), a quantidade de RCC gerada é da ordem de  $68,5 \times 10^6$  t/ano. Desta quantidade estimada, 95%, ou seja,  $(65,0 \times 10^6$  t/ano) é de interesse para a reciclagem. Pela estimativa realizada, é possível ter uma idéia da grande quantidade de resíduos gerados no Brasil.

O volume de entulho, proveniente de construções e demolições, é até duas vezes maior que o volume de lixo sólido urbano, de acordo com Angulo et al, (2002). Na maioria das cidades brasileiras, os RCCs são depositados clandestinamente em aterros clandestinos, os quais têm obstruído córregos, dificultando a drenagem, contribuindo para enchentes e favorecendo o aparecimento de vetores causadores de doenças.

A limpeza de resíduos que são depositados irregularmente tem como consequência gastos significativos para os municípios, que com estas verbas poderiam realizar melhorias de infra-estrutura para a população. De acordo com Angulo (2002), a reciclagem de RCC é uma alternativa importante para a

sustentabilidade na construção civil, tendo como consequência a diminuição do consumo de matérias-primas, melhoria das finanças públicas e geração de empregos.

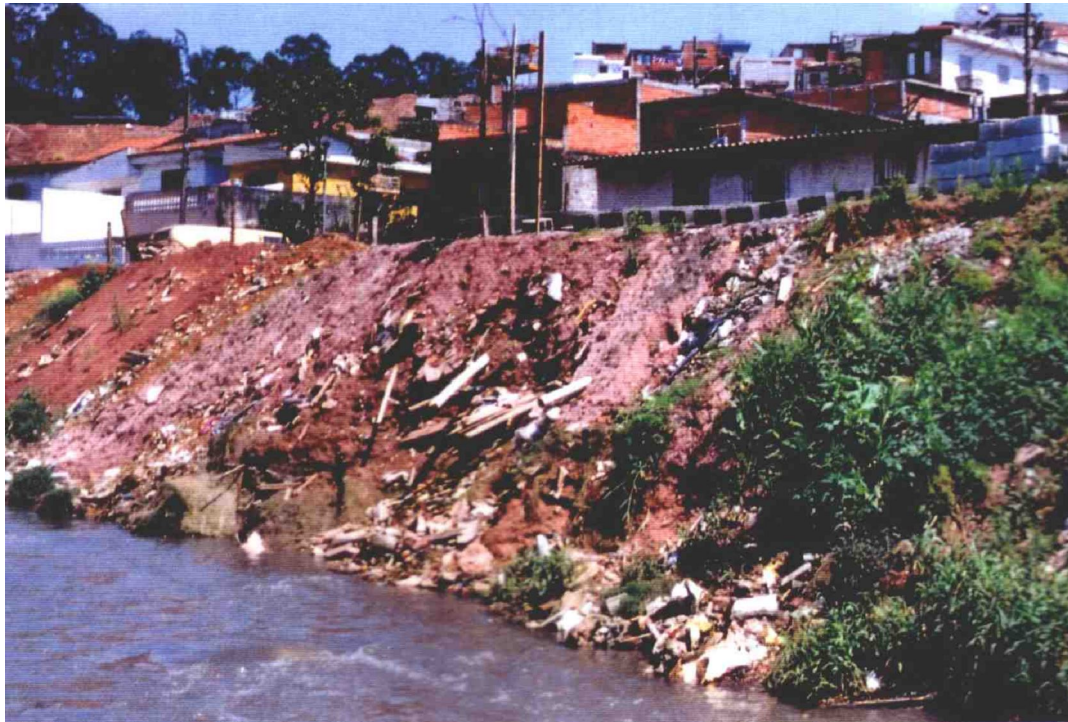


Figura 1: Disposição de RCC nas margens do rio Pirajussara em São Paulo-SP  
Fonte: DAEE/SP

## 1.2 PNEUS INSERVÍVEIS

Segundo Cunha (apud MORALES, 2000), no Brasil são colocados no mercado aproximadamente 60 milhões de pneus por ano e, pelo menos 50% deste total está sendo descartado e disposto em locais inadequados. Estes pneus são descartados em campos, terrenos baldios, aterros sanitários, beiras de estradas, córregos ou queimados a céu aberto, gerando gases poluentes devido à constituição da borracha. De acordo com Pinheiro (2004), o descarte de pneus a céu aberto, quando estes retêm água, é um dos grandes responsáveis pela proliferação de

vetores causadores de doenças, como pôde ser visto no ano de 2002, quando foram registrados no país 765 mil casos de dengue, segundo o Ministério da Saúde.

A principal matéria-prima, a borracha vulcanizada, não se degrada facilmente, sendo que se estima em 600 anos o prazo necessário para um pneu se decompor. A queima ou incineração de pneus a céu aberto, em geral para aproveitamento do aço dos pneus radiais, produz um resíduo oleoso que contamina o solo e o lençol freático, além de intensa fumaça preta contendo dióxido de enxofre, hidrocarbonetos e outros produtos químicos responsáveis pela poluição do ar. Os pneus atirados nos rios e lagoas represam a água e assoreiam os leitos dos mesmos.

Com a elaboração da resolução da CONAMA 258/1999, a reciclagem de pneus vem aumentando. Segundo estimativas de Pinheiro et. al (2003), no ano de 2003, a proporção de reciclagem foi de 120%, ou seja, a cada 10 pneus produzidos, importados, 12 foram reciclados, fazendo com que seja possível a eliminação deste passivo ambiental.

Já a resolução 416/2009 indica que estabelecimentos que comercializam pneus usados deverão adotar procedimentos de controle de identificação de origem e destino dos mesmos e fabricantes e importadores localizados em cidades com população acima de 100 mil habitantes devem implementar pelo menos um ponto de coleta de pneus.

Onde não houver ponto de coleta, os usuários deverão ser atendidos por estes fabricantes e importadores, que terão a obrigação de divulgar, por meio de um plano de gerenciamento de coleta, o armazenamento e destinação de pneus usados aos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama).



Figura 2: Disposição irregular de pneus.  
Fonte: COMLURB/RJ



Figura 3: Queima de pneus em terreno, gerando transtornos urbanos.  
Fonte: COMLURB/RJ

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1. IMPORTÂNCIA DA ECO-92 E DA AGENDA 21**

Nos últimos anos, com a degradação do meio ambiente, escassez das matérias-primas fundamentais para alguns setores da economia mundial, mudanças climáticas, crescimento populacional, intenso processo de industrialização começaram a ser discutidos, em âmbito mundial, diretrizes para se reduzir a poluição ambiental, sob a óptica do desenvolvimento sustentável.

A elaboração da Agenda 21 se baseou em dois documentos distintos: "Agenda 21 Brasileira - Ações Prioritárias", que estabelece os caminhos preferenciais da construção da sustentabilidade brasileira, e "Agenda 21 Brasileira - Resultado da Consulta Nacional".

Durante a ECO-92 no Rio de Janeiro, com a definição da Agenda 21, houve uma ênfase para ser implementado um modelo adequado de gestão dos resíduos sólidos urbanos (GUNTHER, 2000). Uma das soluções apresentada, foi a reciclagem dos resíduos de construção civil - RCC, assim como outros passivos ambientais, como por exemplo, as lâmpadas fluorescentes e os pneus, sendo que a Construção Civil tem um grande potencial de reaproveitamento de materiais. (JOHN (2000); LEVY (1997); PINTO (1999)).

Muitos pesquisadores defendem a Agenda 21 para a Construção Civil para um melhor direcionamento da prática de desenvolvimento sustentável e apresentação de propostas mais direcionadas para discussão de soluções para a destinação dos passivos ambientais gerados pela Construção Civil.

Em termos de recuperação da pavimentação asfáltica com incorporação de resíduos sólidos urbanos, a ECO-92 e a Agenda 21, com as soluções apresentadas de gestão dos mesmos, possibilitam realizar um estudo de materiais alternativos para aplicação na recuperação de pavimentos. A qualidade dos pavimentos urbanos a base de material asfáltico se apresenta em péssimas condições de uso,

em geral, em muitas cidades brasileiras e a demanda de material para recuperação onera grandemente os cofres públicos.

## **2.2. A NBR 10004 e NBR15116**

A NBR 10004/2004 refere-se à classificação dos resíduos sólidos urbanos, os quais são divididos nas três classes distintas apresentadas a seguir, com o objetivo de facilitar o gerenciamento dos mesmos.

- Classe I: Resíduos perigosos;
- Classe II: Resíduos Não perigosos;
- Classe IIA: Inertes;
- Classe IIB: Não Inertes;

O objetivo desta norma é classificar os resíduos quanto aos riscos que podem ocasionar ao meio ambiente e à saúde pública e contribuir para um melhor gerenciamento dos mesmos. Os resíduos radioativos não são considerados nesta norma, em virtude desses resíduos serem de competência da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

O RCC é considerado um resíduo inerte, conforme norma NBR 10007/2004. Ao ser submetido a um contato dinâmico e estático com água destilada ou ionizada quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade, excetuando-se os parâmetros: aspecto, cor, dureza, turbidez. Já os pneus têm uma maior dificuldade de classificação, dependendo de sua disposição. Caso sejam depositados em fundos de vale, podem causar assoreamento de rios e ribeirões, ou poluição do ar, caso sejam queimados, encaixando-se como resíduos perigosos.

Já a NBR 15116/2004 trata da utilização de agregados reciclados de resíduos da construção civil para pavimentação e concretos não-estruturais. Obedecem as classificações de resíduos da resolução 307/2002 do CONAMA assim como, da NBR 10004/2004. O objetivo desta norma é estabelecer requisitos para o emprego de agregados reciclados da construção civil para obras de pavimentação,

como reforço de subleito, base, sub-base ou revestimento primário de vias não pavimentadas e uso para concretos sem função estrutural.

O principal requisito para uso dos agregados reciclados atende às exigências da norma NBR 15114/2004. Os agregados reciclados são descritos como: ARC (agregado de resíduo de concreto) e ARM (agregado de resíduo misto).

### **2.3. UTILIZAÇÃO DE RCC COMO AGREGADO PARA CONCRETOS**

Na reciclagem de RCC, através do processo de britagem ou moagem do entulho, são obtidos agregados graúdos ou miúdos, os quais devem respeitar os limites de granulometria e teor de material pulverulento especificados, viabilizando o uso dos mesmos como agregados para concretos ou argamassas.

Além da granulometria, na produção de concreto devem ser respeitados outros parâmetros, como a relação água/cimento ( $a/c$ ) para utilizar os agregados da melhor maneira possível. Outro fator a ser analisado é a esfericidade das partículas, a qual interfere diretamente na trabalhabilidade das misturas. A relação  $a/c$  é influenciada pela heterogeneidade dos agregados reciclados, particularmente quando estes incluem restos de argamassas e material cerâmico. Segundo Angulo (1998), para uma melhor análise do agregado, por ser um material heterogêneo, em que a absorção dos agregados obtidos pela reciclagem pode variar em função da quantidade de argamassa antiga aderida aos agregados originais, deve ser feito um estudo em nível microscópico, permitindo, assim, uma relação  $a/c$  com maior precisão e um melhor grau de empacotamento.

Apesar dos agregados assim obtidos poderem estar dentro dos limites de granulometria desejáveis e isentos de impurezas, a qualidade dos mesmos não é garantida, pois não se descarta a possibilidade da presença de alguns materiais contaminantes que podem afetar o desempenho do produto final. Para Levy (1997), os agregados podem conter alguns níveis toleráveis de contaminação, desde que seja indicado o seu uso específico, garantindo assim o desempenho dos mesmos.

### 2.3.1 UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO

A utilização do RCC como agregado miúdo se destina à aplicação em argamassas e concreto asfáltico. No concreto asfáltico, o agregado miúdo proveniente de britagem é utilizado como *filler*, de acordo com estudo realizado por (ZAGURRSKIJ e ZHADANOVSKIJ, apud LEVY, 1997, p.47).

### 2.3.2 UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO

A utilização do RCC como agregado graúdo se aplica à produção de blocos de concreto para vedação, estabilização de sub-bases, preparo de bases, concreto para pavimentos e na produção de concretos estruturais, de acordo com o trabalho desenvolvido por Levy (1997). A resistência mínima à compressão exigida para os blocos de vedação é de 2,0 MPa e para alvenaria estrutural é de 3,0 MPa.

Na incorporação de agregados graúdos de RCC em concretos para a pavimentação asfáltica, os americanos e europeus possuem uma grande experiência (LEVY, 1997). A seguir, serão citados alguns exemplos bem sucedidos desta aplicação, segundo Levy (1997).

No estado de Iowa, em 1976, um pavimento com tempo de utilização de 41 anos foi demolido, com posterior britagem. Em seguida, o agregado obtido foi utilizado para a produção de concreto, aplicado em uma pista de rolamento com 1.650 metros de extensão e 22,5 cm de espessura. Esta intervenção, segundo Levy (1997), foi a primeira do gênero a apresentar resultados satisfatórios.

Hendriks (apud LEVY, 1997) cita a reciclagem de concretos para a produção de agregados graúdos, utilizados em concretos estruturais nos pavimentos de aeroportos na Holanda, onde as resistências médias obtidas foram em torno de 10 a 20% inferiores aos valores alcançados por concretos produzidos com agregados naturais.

Pavimentos de concreto executados com incorporação de RCC como agregados graúdos, pelas experiências citadas, tornam-se bastante viáveis devido a sua resistência, que é ligeiramente inferior aos valores obtidos com concretos produzidos com agregados naturais.

No Brasil, são diversas as aplicações do RCC como materiais para base e sub-base em obras de pavimentação.

## **2.4. USO DO CONCRETO EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**

Os pavimentos executados com concreto têm durabilidade maior que os pavimentos asfálticos (ASSUMPÇÃO et. al, 2001). Segundo Assumpção et. al (2001), sua vida útil geralmente supera 20 anos. Apesar da maior durabilidade, a solução adotando este material depende de diversas particularidades, desde o projetista até as necessidades do local onde a obra será executada, bem como, do impacto sócio-econômico causado.

Assumpção et.al (2001) citam que há pavimentos de concreto executados na década de 70 que ainda estão em perfeito estado de conservação. Por outro lado, há pavimentos de concreto executados em épocas mais recentes que apresentam o desempenho comprometido, sendo necessária a realização de reparos e reforços antes do previsto.

A seguir, serão citados alguns tipos de aplicação de pavimentos executados com concreto.

### **2.4.1 PAVIMENTOS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - CAD**

Em vários países tem sido observado o uso do concreto de alto desempenho. Na Noruega, em 1983, o concreto de alto desempenho foi empregado no pavimento do Túnel Smestad, em Oslo, sendo que sua resistência à compressão se situou num patamar entre 60 e 70 MPa.

Nos países que apresentam invernos rigorosos, o concreto de alto desempenho (CAD) garantiu a melhoria da durabilidade dos pavimentos, sobretudo

em pontes e viadutos. Um dos fatores determinantes para a diminuição da durabilidade dos pavimentos em países de clima frio é o uso de sal para limpeza da neve nas pistas de rolamento e desobstrução das mesmas. Sabe-se que o cloreto ataca significativamente as armaduras, provocando sua rápida corrosão, o que exige manutenções em curtos espaços de tempo.

Segundo Assumpção et.al (2001), nos Estados Unidos, o uso do HPCP (High Performance Concrete Paving) tem sido estudado desde a década de 80, fazendo com que os técnicos americanos tenham uma vasta experiência neste assunto. Em sua aplicação em pavimentos de tráfego intenso foram identificados diversos benefícios como: menor custo de manutenção, menor prazo para execução das obras, menores prazos para reparos, com conseqüente liberação rápida do tráfego.

No Brasil, está aumentando a utilização deste material, principalmente em obras viárias e pisos industriais, onde há grandes solicitações e exigências específicas, como maior planicidade do pavimento, baixa fissuração e alta resistência a agentes químicos.

#### 2.4.2. PAVIMENTOS DE CONCRETO SOBREPOSTOS (WHITETOPPING)

Uma técnica bastante interessante para a aplicação do concreto de alto desempenho em pavimentos é denominada *Whitetopping*. Esta técnica vem sendo utilizada há algumas décadas nos EUA.

A técnica *Whitetopping*, que se constitui no capeamento do pavimento asfáltico danificado por uma camada de concreto de cimento *portland*, pode ser dividida nos seguintes tipos: *Whitetopping* Convencional, *Whitetopping* encaixado (*Whitetopping inlay*), *Whitetopping* ultradelgado e o *Fast-Track*.

A técnica *Whitetopping* encaixado (*Whitetopping inlay*) é utilizada em situações onde a parte do pavimento a ser recuperada é apenas a largura, como por exemplo, uma faixa apenas.

Já o *Whitetopping ultradelgado* é utilizado quando há a necessidade de se reduzir a espessura dos pavimentos, principalmente em regiões urbanas. Esta técnica utiliza uma camada de pavimento de concreto de alta resistência, sobreposta a uma camada de concreto asfáltico que tenha função estrutural, sendo a espessura de recobrimento em torno de 50 a 100 mm, com juntas pouco espaçadas, aderido à camada asfáltica. Para se ter um desempenho adequado do *Whitetopping ultradelgado*, é importante que haja perfeita aderência entre a placa de concreto e a camada asfáltica remanescente. Segundo Assumpção et. al (2001), a aplicação de fibras reduzem os riscos de fissuração do pavimento.

Em virtude de se ter necessidade de liberação rápida do tráfego, é aplicada junto ao *Whitetopping* a tecnologia de pavimentos de concreto com rápida liberação ao tráfego, chamado *fast track concrete*, atingindo assim uma resistência de 20 MPa em menos de 24 horas. Grove apud (Assumpção et.al (2001) cita especificações mais rigorosas, onde estabelecem resistência à flexão de 3 MPa na idade 8 horas. Os microconcretos possibilitam a liberação da pista ao tráfego em até cerca de duas horas, atingindo resistências à compressão da ordem de 20 a 25 MPa..

No Brasil, foi construída uma faixa experimental de whitetopping ultradelgado em 1997, com extensão de 550m no Km 155 da Rodovia Castello Branco, constituída por 2 sub-trechos de espessuras 8cm e 10cm. Segundo (BALBO; FORTES) apud (Assumpção et. al (2001), o pavimento foi dimensionado para uma resistência característica à compressão de 60 MPa e à flexão de 6,5 MPa, porém os resultados apresentados não foram satisfatórios.

Os reparos ou manutenção de pavimentos em rodovias, aeroportos e vias urbanas geram desafios para sua execução, em virtude do tráfego intenso e do tempo de paralisação parcial dos mesmos. As exigências são cada vez maiores, havendo a necessidade de soluções de controle de materiais, especificações e metodologia de trabalho adequados para garantirem a rápida reestruturação dos pavimentos, de acordo com (BALBO; FORTES) apud (Assumpção et.al (2001). A técnica que atende a estas exigências é denominada de *Fast Track*, que soluciona problemas durante a construção, reconstrução, reparos, execução de camadas superpostas, garantindo assim pavimentos com qualidade e durabilidade. O *fast track* também é aplicado junto com o *whitetopping*.

O controle de materiais, junto à dosagem de concreto de forma adequada, tem permitido a liberação do pavimento ao tráfego em prazos inferiores a duas horas após sua interrupção.

## **2.5. UTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**

A incorporação de borracha de pneu moída na execução de revestimentos asfálticos tem sido apresentada como uma solução viável para o problema ambiental provocado pela destinação final inadequada de pneus inservíveis. Segundo Pinheiro et. al (2003), em países como os Estados Unidos, existe uma legislação desde 1991, segundo a qual é obrigado o uso de um percentual de borracha reciclada de pneus inservíveis em projetos de pavimentação com financiamento federal.

O uso de borracha com incorporação de pneu em ligantes asfálticos teve início em 1963, com o Engenheiro Charles H. McDonald (PINHEIRO et. al (2003)). Ele desenvolveu um material altamente elástico, destinado à manutenção de pavimentos asfálticos, especialmente na execução de remendos, que ficou conhecido como “band-aid” (MORILHA & GRECA) (apud ALY, 2006).

Segundo Aly (2006), a primeira pavimentação executada em via pública com incorporação de pneus aconteceu em Phoenix, Estado do Arizona, com um resultado bastante satisfatório, sendo que após seis anos de sua utilização, não havia a presença de trincas.

Após estudos de pesquisadores, a partir da década de 80, a alternativa de execução de pavimentação asfáltica com uso de borracha de pneu consolidou-se como uma importante alternativa para a redução do passivo ambiental constituído por pneus inservíveis.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODO**

Os reparos a serem analisados foram executados no estacionamento do CTU (Centro de Tecnologia e Urbanismo) e a intervenção foi realizada na forma de placas, totalizando sete placas, cada uma com um traço de concreto diferente. A escolha do local teve o seguinte critério adotado, por Cugler (2004): a escolha das piores situações à quais o material seria exposto.

Cugler (2004) optou por um trecho dentro da Universidade Estadual de Londrina - UEL, onde se verificou que o pavimento asfáltico estava deteriorado e com isto poderiam ser avaliadas situações críticas de exposição, visando a busca por melhores resultados. A escolha do estacionamento do CTU, segundo Cugler (2003), se deveu à exposição constante ao tráfego intenso e com isto, visou-se expor o material às piores situações. Um outro fator considerado nesta escolha foi a facilidade de intervenção junto ao pavimento.

#### **3.1 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS**

Para se realizar a avaliação das características do concreto após um período de exposição, foram extraídos no local de reparo quatro corpos-de-prova por placa, totalizando 28 corpos-de-prova. Cada uma das placas apresentava um traço específico e uma composição de agregados diferente.

Os corpos-de-prova foram armazenados no Laboratório de Materiais de Construção do CTU, em recipientes protegidos da ação de intempéries.

#### **3.2 LEVANTAMENTO VISUAL DO ESTADO DO PAVIMENTO**

Foram realizadas visitas ao local onde foram realizados os reparos, de forma a se constatar a situação atual do pavimento e identificar manifestações patológicas,

tais como fissuras, rachaduras, desagregação e deformações das placas, bem como o estado da região de interface de contato entre as placas de concreto e o pavimento asfáltico.

### **3.3 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO DA SITUAÇÃO *IN SITU***

Foi feito um levantamento fotográfico com a finalidade de registrar e oferecer subsídios para as análises do estado atual do pavimento e possibilitar estudos comparativos, posteriormente.

### **3.4 MENSURAÇÃO DOS DANOS OCORRIDOS AO LONGO DO TEMPO**

Foi realizado um registro e medição das alterações ocorridas neste intervalo de tempo, como: ocorrência e dimensões de fissuras, aberturas, cavidades, desprendimento de materiais, visando estabelecer uma avaliação da extensão e das dimensões das ocorrências.

### **3.5 AVALIAÇÃO DA REGIÃO CONTÍGUA A ZONA DE REPARO**

Foi realizada uma inspeção para se verificar o estado do pavimento flexível nas áreas contíguas aos pontos onde foram realizadas as intervenções, para se verificar a qualidade de ambos os tipos de pavimento.

### **3.6 IDENTIFICAÇÃO DOS TRAÇOS E DOS MATERIAIS EMPREGADOS**

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para se proceder o levantamento dos traços utilizados nos reparos do pavimento do CTU.

### **3.7 UTILIZAÇÃO DE NOVOS TRAÇOS**

Foram empregados novos traços, com a finalidade de comparação com os traços empregados, assim como analisar a viabilidade dos traços empregados para a utilização em pavimentos.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

Seguem os resultados obtidos.

#### 4.1 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS

Foram extraídos no local de reparo quatro corpos-de-prova por placa, totalizando 28 corpos-de-prova. Cada uma das placas apresenta um traço de concreto específico e uma composição de agregados.

#### 4.2. LEVANTAMENTO VISUAL E FOTOGRÁFICO DO ESTADO DO PAVIMENTO

Foram realizadas visitas ao local, tendo sido feito um levantamento fotográfico do pavimento, com a finalidade de registrar e fazer melhor análise do estado atual dos reparos.

Através da inspeção visual, foram constatadas poucas patologias, as quais são apresentadas nas tabelas 4.1 à 4.7.

Tabela 4.1 – Levantamento de patologias – Placa 1

Placa 01	Ausente	Muito Pouco	Pouco	Razoável	Muito
<b>Patologias</b>					
Ocorrência de Fissuras	x				
Deformações		x			
Desagregação Superficial	x				
Exposição de Agregados	x				
Pulverulência Superficial	x				
Arestas com Desagregação	x				
Ocorrência de Bicheiras	x				



Figura 4: Placa 1 constituída de concreto simples sem adição de agregados especiais  
Fonte: KATUTA (2007)

Na placa 1 não foi detectado qualquer tipo de patologia descrita na tabela 4.1, porém foram detectadas algumas deformações por falhas na execução, no caso, na etapa de desempenamento do concreto. O traço empregado na placa 1 foi empregado um concreto simples sem adição de agregados especiais.

Tabela 4.2 – Levantamento de patologias – Placa 2

Placa 02	Ausente	Muito Pouco	Pouco	Razoável	Muito
<b>Patologias</b>					
Ocorrência de Fissuras	x				
Deformações		x			
Desagregação Superficial		x			
Exposição de Agregados	x				
Pulverulência Superficial	x				
Arestas com Desagregação	x				
Ocorrência de Bicheiras	x				



Figura 5: Placa 2 utilizando concreto com adição de raspas de pneu  
Fonte: KATUTA (2007)

Na placa 2 foi detectado uma pequena desagregação superficial devido a falhas na execução do concreto na etapa de adensamento e também foram detectados algumas deformações pelo mesmo motivo da placa anteriormente citada.

Tabela 4.3 – Levantamento de patologias – Placa 3

Placa 03	Ausente	Muito Pouco	Pouco	Razoável	Muito
<b>Patologias</b>					
Ocorrência de Fissuras	x				
Deformações		x			
Desagregação Superficial	x				
Exposição de Agregados	x				
Pulverulência Superficial	x				
Arestas com Desagregação	x				
Ocorrência de Bicheiras	x				



Figura 6: Placa 3  
Fonte: KATUTA (2007)

Foram detectadas na placa 3 apenas algumas deformações em virtude de falhas na execução, como nas placas anteriores.

Tabela 4.4 – Levantamento de patologias – Placa 4

Placa 04	Ausente	Muito Pouco	Pouco	Razoável	Muito
<b>Patologias</b>					
Ocorrência de Fissuras	x				
Deformações		x			
Desagregação Superficial			x		
Exposição de Agregados					x
Pulverulência Superficial	x				
Arestas com Desagregação			x		
Ocorrência de Bicheiras	x				



Figura 7: Placa 4 utilizando concreto com 20% de raspas de pneus em relação à massa de areia  
Fonte: KATUTA (2007)

Na placa 4 foram detectadas algumas patologias como: desagregação superficial e arestas com desagregação em pouca quantidade. Já a exposição de agregados é bastante considerável, o material determinante para o aparecimento maior de patologias nesta placa foram as raspas de pneu em maior quantidade (20% em relação à massa de areia). As deformações presentes têm o mesmo motivo das placas anteriores.

Tabela 4.5 – Levantamento de patologias – Placa 5

Placa 05	Ausente	Muito Pouco	Pouco	Razoável	Muito
<b>Patologias</b>					
Ocorrência de Fissuras	x				
Deformações		x			
Desagregação Superficial		x			
Exposição de Agregados		x			
Pulverulência Superficial	x				
Arestas com Desagregação					
Ocorrência de Bicheiras	x				



Figura 8: Placa 5 utilizando concreto com 7,5% de raspas de pneus em relação à massa de areia  
Fonte: KATUTA (2007)

Na placa 5 foram detectadas algumas patologias como desagregação superficial e exposição de agregados em pouca quantidade. Em relação à placa 4, as patologias detectadas foram em menores quantidades devido à menor quantidade de raspas de pneu no traço (7,5% em relação à massa de areia). Já em relação à placa 2, as patologias encontradas foram maiores, devido à composição do agregado reciclado presente nas duas placas, o ARC (placa 2) e o ARM (placa5). As deformações presentes têm o mesmo motivo das placas anteriores.

Tabela 4.6 – Levantamento de patologias – Placa 6

Placa 06	Ausente	Muito Pouco	Pouco	Razoável	Muito
<b>Patologias</b>					
Ocorrência de Fissuras	x				
Deformações		x			
Desagregação Superficial		x			
Exposição de Agregados	x				
Pulverulência Superficial	x				
Arestas com Desagregação	x				
Ocorrência de Bicheiras	x				



Figura 9: Placa 6 utilizando concreto com adição de 6% de raspas de pneus em relação à massa de areia

Fonte: KATUTA (2007)

Na placa 6, apesar da inexistência de exposição de desagregação devido à diminuição da porcentagem de raspas de pneu (7,5% para 6% em relação à massa de areia), houve a pequena presença de desagregação superficial. As deformações presentes têm o mesmo motivo das placas anteriores.

Tabela 4.7 – Levantamento de patologias – Placa 7

Placa 07	Ausente	Muito Pouco	Pouco	Razoável	Muito
<b>Patologias</b>					
Ocorrência de Fissuras	x				
Deformações		x			
Desagregação Superficial		x			
Exposição de Agregados	x				
Pulverulência Superficial	x				
Arestas com Desagregação	x				
Ocorrência de Bicheiras	x				



Figura 10: Placa 7  
Fonte: KATUTA (2007)

Na placa 7 foi detectada uma pequena desagregação superficial devido a falhas na execução do concreto na etapa de adensamento. As deformações presentes têm o mesmo motivo que as placas anteriores.

#### **4.3. MENSURAÇÃO DOS DANOS OCORRIDOS AO LONGO DO TEMPO**

Foi realizada uma inspeção para verificar as alterações ocorridas desde 2004 até 2007, tendo sido verificado: desprendimento de materiais, de forma a se estabelecer uma avaliação das dimensões das ocorrências. Nessa avaliação não foram detectadas fissuras e aberturas. Porém, foi possível detectar o acúmulo de água pluvial em algumas placas devido a falhas no desempenamento do concreto.

A ordem de grandeza da desagregação ocorrida é de pequena intensidade, na placa 4, devido a uma maior quantidade de materiais finos, no caso a raspa de pneu, onde sua composição foi de 20% em relação à massa de areia no traço.

#### 4.4. AVALIAÇÃO DA REGIÃO CONTÍGUA À ZONA DE REPARO

Foi realizada uma inspeção para se verificar o estado do pavimento flexível nas áreas contíguas aos pontos onde foram realizadas as intervenções para se verificar a qualidade de ambos os tipos de pavimento.

Foi observado que, enquanto algumas placas apresentaram desprendimento de materiais, o pavimento asfáltico apresentou acentuado estado de deterioração. Aparentemente, a qualidade do reparo encontra-se melhor que o reparo executado com concreto asfáltico, conforme mostra a figura 11, muito embora se tenha observado a ocorrência de várias intervenções no pavimento asfáltico desde a execução dos reparos com concreto.



Figura 11: Vista geral da região contígua à zona de reparo  
Fonte: KATUTA (2007)

## 4.5. IDENTIFICAÇÃO DOS TRAÇOS E DOS MATERIAIS EMPREGADOS

Foi realizado um levantamento dos traços utilizados e constatou-se que CUGLER (2004) realizou estudos com sete traços diferentes, tendo sido escolhido o traço padrão 1: m = 1: 5 entre a massa de aglomerante e agregados e o traço unitário em massa 1: 2: 3. Seguem as composições dos traços empregados nos reparos:

Traço 01 - concreto simples, sem adição de agregados especiais, apenas com a finalidade de se obter um padrão de comparação com os outros ensaios.

Traço 02 - concreto com a adição de 7,5% de raspas de pneu em relação à massa de agregado miúdo.

Traço 03 - concreto com 20% de ARC (agregado de concreto) em relação à massa de agregado graúdo e 7,5% de raspas de pneu em relação à massa de agregado miúdo.

Traço 04 - concreto com 20% de ARC, aumentando-se a porcentagem de raspas para 15%.

Traço 05 – foram mantidas as mesmas proporções do traço 03, substituindo-se apenas o ARC (agregado de concreto) por RCD (agregado misto).

Traço 06 – foi diminuída a porcentagem de raspas para 6% e o teor de RCD ficou em 20%.

Traço 07 – foi adicionado 100% de RCD (agregado misto) para a produção de concreto, excluindo-se as raspas de pneu.

A tabela 4.8 apresenta as porcentagens de cada traço.

Tabela 4.8- Distribuição das porcentagens de cada traço

		% AST	% RCD	% ARC
<b>Traço 01</b>	01:02:03	X	X	X
<b>Traço 02</b>	01:02:03	7,5	X	X
<b>Traço 03</b>	01:02:03	7,5	X	20
<b>Traço 04</b>	01:02:03	15	X	20
<b>Traço 05</b>	01:02:03	7,5	20	X
<b>Traço 06</b>	01:02:03	6	20	X
<b>Traço 07</b>	01:02:03	X	100	X

Fonte: CUGLER (2004)

Segundo os estudos realizados anteriormente, o traço que apresentou melhor resultado mecânico foi o 3, com uma resistência mecânica à compressão aos 7 dias de 33,80 MPa, um valor bastante próximo ao traço 1, que utilizou concreto sem adições de resíduos, o qual chegou a uma resistência de 34,81 MPa.

#### 4.6. UTILIZAÇÃO DE NOVOS TRAÇOS

Foram empregados quatro novos traços, com a finalidade de comparação com os traços empregados, assim como analisar a viabilização dos mesmos para a utilização em pavimentos.

Foi utilizado o traço padrão de 1:2:3 e fixada a relação a/c em 0,5, com a finalidade de comparação entre os traços novos e os já empregados. Os traços empregados foram os seguintes:

Traço 1: concreto simples, sem adição de agregados especiais, apenas com a finalidade de se obter um padrão de comparação com os outros ensaios.

Traço 2: foi aumentada a porcentagem de AST para 10% combinando com a utilização de 20% de RCD.

Traço 3: foi fixada a porcentagem de AST em relação ao traço 2 e aumentada a porcentagem de RCD para 30%.

Traço 4: concreto com adição de 15% de AST em relação à massa de areia.

## CAPÍTULO 5

### ENSAIOS COM TESTEMUNHOS

Segundo Neville (1997), para testemunhos cilíndricos com relação  $h/d$  (altura/diâmetro) entre 1,5 e 4,0, a resistência é pouco influenciada, e para valores entre 1,5 e 2,5, a resistência não difere mais do que 5% dos valores obtidos com testemunhos com relação  $h/d$  ideal. A relação  $h/d$  é igual a 2,0.

Os valores da relação  $h/d$  inferiores a 1,5 causam aumento elevado da resistência em função do efeito da contenção dos pratos da prensa. Levando isto em consideração, a tabela 5.1 apresenta os valores dos fatores de correção da resistência de testemunhos com relação  $h/d$  inferiores a 2,0 propostas pela ASTM C42-90 (American Society for Testing and Materials) e BS 1881: Parte 120:1983 (British Standards).

Tabela 5.1 – Fatores de correção para corpos-de-prova cilíndricos em função da relação altura/diâmetro

Relação $h/d$	Fator de correção ASTM C 42-90	BS: 1881 Parte 120:1983
2,00	1,00	1,00
1,75	0,98	0,97
1,50	0,96	0,92
1,25	0,93	0,87
1,00	0,87	0,80

Fonte: NEVILLE (1997)

Os testemunhos extraídos da zona de reparo tiveram altura variável dentro dos mesmos traços. Isso se deveu a problemas durante a execução dos reparos, como desempenamento e adensamento não adequados.

## 5.1 ENSAIOS COM TESTEMUNHOS PEQUENOS

De acordo com Neville (1997), as normas BS e ASTM especificam um diâmetro mínimo de 100 mm para os testemunhos, desde que esse diâmetro seja igual a pelo menos 3 vezes o tamanho máximo do agregado. Caso contrário podem infringir o requisito de um valor mínimo da relação entre o diâmetro do testemunho e o tamanho máximo do agregado, sendo que a operação de extração pode abalar a aderência entre o agregado e a pasta de cimento (BUNGLEY apud NEVILLE (1997)).

No caso das placas em estudo, a dimensão máxima do agregado está dentro do limites dos diâmetros dos testemunhos, ou seja, é de 9,5 mm e o diâmetro dos testemunhos é 55 mm.

## 5.2 RUPTURA À COMPRESSÃO

Como os corpos-de-prova apresentaram valores de  $h/d$  inferiores a 2,0, foram obtidos por interpolação os valores de correção pelas normas anteriores e feita a média entre ambos, para a correção dos resultados de ruptura à compressão.



Figura 12: Ruptura à compressão com testemunho  
Fonte: KATUTA (2007)

### 5.2.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados constam na tabela 5.2 a seguir:

Tabela 5.2 – Valores das resistências e do fator de correção

CP	h/d	Valor obtido (Mpa)	Coef. Correção médio	Valor corrigido (Mpa)
TRAÇO 1				
1A	1,27	37,8	0,903	34,13
1B	1,25	48,1	0,900	43,29
1C	1,15	49,7	0,875	43,49
1D	1,09	35,0	0,859	30,07
TRAÇO 2				
2A	1,42	24,1	0,927	22,34
2B	1,24	17,8	0,898	15,98
2C	1,42	22,2	0,927	20,58
2D	0,98	31,8	0,832	26,46
TRAÇO 3				
3A	1,60	56,2	0,954	53,61
3B	1,09	19,1	0,859	16,41
3C	1,73	29,3	0,972	28,48
3D	1,60	38,6	0,954	36,82
TRAÇO 4				
4A	0,96	18,3	0,828	15,15
4B	1,44	12,8	0,931	11,92
4C	1,33	14,8	0,913	13,51
4D	1,27	12,5	0,903	11,29
TRAÇO 5				
5A	1,18	25,9	0,882	22,84
5B	1,15	27,0	0,874	23,60
5C	1,15	22,0	0,874	19,23
5D	1,20	23,7	0,887	21,02
TRAÇO 6				
6A	0,85	22,0	0,810	17,82
6B	1,07	20,7	0,855	17,70
6C	1,09	32,0	0,859	27,49
6D	0,95	23,0	0,828	19,04
TRAÇO 7				
7A	1,25	24,6	0,900	22,14
7B	1,18	33,4	0,882	29,46
7C	1,16	36,3	0,879	31,91
7D	1,24	25,6	0,898	22,99

Considerando as limitações da extração dos testemunhos, as variações dimensionais, possíveis excentricidades e a possibilidade de ocorrência de microfissuras nas extremidades, foram considerados os valores máximos de cada traço para efeito de comparação dos valores das resistências obtidas aos 7 dias. A idade dos corpos-de-prova é de 1253 dias:

Tabela 5.3 – Comparação das resistências aos 7 e 1253 dias

	TRAÇO	%AST	%RCC	%ARC	fc7 (Mpa)	fc1253 (Mpa)	Varição (%)
<b>Traço 1</b>	01:02:03	X	X	X	34,81	43,49	24,94
<b>Traço 2</b>	01:02:03	7,5	X	X	22,57	26,46	17,24
<b>Traço 3</b>	01:02:03	7,5	X	20	33,80	53,61	58,61
<b>Traço 4</b>	01:02:03	15	X	20	11,16	15,15	35,75
<b>Traço 5</b>	01:02:03	7,5	20	X	18,95	23,60	24,54
<b>Traço 6</b>	01:02:03	6	20	X	22,62	27,49	21,53
<b>Traço 7</b>	01:02:03	X	100	X	20,98	31,91	52,10

Houve um aumento da resistência em todos os traços, como pode ser observado anteriormente, chegando próximo a 59% no traço 3. O traço que apresentou menor variação de resistência foi o traço 2, com um aumento de resistência de 17%.

A combinação de 20% de RCD com baixos teores de AST (entre 6,0 e 7,5%) garantiu aumento de resistência na ordem de 25% aos 1253 dias em relação à resistência aos 7 dias.

O concreto com 100% de RCD apresentou aumento de 52% na resistência final. O uso de 7,5% de AST combinado com 20% de ARC foi favorável, com ganho de aproximadamente 60% de resistência de 7 para 1253 dias. Este desempenho foi melhor que o concreto normal com a mesma adição de AST, o qual apresentou aproximadamente 18% de aumento.

### 5.3 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO

O ensaio de carbonatação foi feito na idade de 1266 dias. Para o ensaio de carbonatação foi necessário romper os testemunhos ao meio para, posteriormente, ser feita a titulação com fenolftaleína. Foi utilizado 1 testemunho por traço para a realização deste ensaio.

O lançamento de fenolftaleína em peças de concreto torna a peça não carbonatada de cor magenta. Porém, no local onde o concreto permanecer com a cor natural, significa que ocorreu a carbonatação.

As figuras 13 e 14 ilustram como foi o procedimento do ensaio de carbonatação.



Figura 13: Fenolftaleina e testemunhos  
Fonte: KATUTA (2007)



Figura 14: Testemunho com carbonatação detectada  
Fonte: KATUTA (2007)

### 5.3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados constam na tabela 5.4 a seguir:

Tabela 5.4 – Resultados do ensaio de carbonatação

<b>TRAÇO</b>	<b>%AST</b>	<b>%RCC</b>	<b>%ARC</b>	<b>PROFUNDIDADE (cm)</b>
1	X	X	X	0,00
2	7,5	X	X	0,00
3	7,5	X	20	0,00
4	15	X	20	0,55
5	7,5	20	X	0,46
6	6,0	20	X	0,00
7	X	100	X	0,00

O concreto com maior permeabilidade foi o que apresentou maior profundidade de carbonatação. O ARC não contribuiu para o aumento da permeabilidade.

A combinação de 7,5% de AST e 20% de RCC favoreceu a carbonatação, o que desaconselha o uso do traço de concreto nestas proporções.

## CAPÍTULO 6

### ENSAIOS COM NOVOS TRAÇOS

Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm para a realização dos seguintes ensaios: ruptura à compressão e módulo de elasticidade.

O ensaio de módulo de elasticidade foi feito na Prensa Universal, onde foram introduzidos os extensômetros nos corpos-de-prova, e o valor do módulo de elasticidade foi determinado a cada 10% da tensão de ruptura dos mesmos, sendo retirados ao atingir 50% da tensão de ruptura, para continuar o ensaio até a ruptura.

As figuras 15 e 16 ilustram a realização do ensaio de módulo de elasticidade.



Figura 15: Prensa Universal para a realização do ensaio de Módulo de elasticidade  
Fonte: KATUTA (2007)



Figura 16: Ensaio de Módulo de Elasticidade em andamento  
Fonte: KATUTA (2007)

## 6.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabela 6.1 apresenta os resultados dos ensaios realizados:

Tabela 6.1 – Apresentação dos resultados dos ensaios

TRAÇO	SLUMP (cm)	%AST	%RCC	fc7 (Mpa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)
TRAÇO 01	4,5	X	X	27,33	36,9
TRAÇO 02	1,5	10	20	16,03	23,3
TRAÇO 03	0,0	10	30	13,47	20,7
TRAÇO 04	0,5	15	X	12,67	20,9

### 6.1.1 RUPTURA À COMPRESSÃO

O aumento de AST de 7,5 para 10% provocou a queda de resistência de 19 MPa para 16 MPa, aproximadamente 16%.

Já a combinação de 10% de AST e 30% de RCD foi desfavorável, tornando o concreto mais seco para uma mesma relação a/c. Este concreto apresentou a pior trabalhabilidade entre os outros traços e houve ocorrência de bicheiras com queda de resistência de 16 MPa para 13 MPa, tendo uma diminuição de aproximadamente 20% em relação ao traço com a porcentagem de RCD em 20%.

O uso de adição de AST ao concreto convencional, em teor de 15%, apresentou queda de resistência de 45% em relação à adição de 7,5%, tornando desaconselhável a elevação do teor de AST.

### 6.1.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Com aplicação de 30% da carga provável de ruptura, foram determinados os valores do Módulo de Elasticidade. O aumento no teor de AST provocou redução do módulo de elasticidade. Teores acima de 10% não provocaram alterações significativas.

O aumento de 20 para 30% de RCC provocou a redução de 11% no módulo de elasticidade.

## CONCLUSÕES

As recuperações de pavimento asfáltico com concreto, incorporando resíduos sólidos urbanos apresentaram qualidade superior às recuperações feitas com concreto asfáltico.

Apesar deste desempenho, os traços que apresentaram carbonatação, como a combinação de 7,5% AST e 20% RCC e 15% AST e 20% ARC, tornaram inviáveis para o uso na pavimentação.

Os dados confirmaram as conclusões de Cugler (2004), referentes à idade de 7 dias, com a indicação da adição de 7,5% de AST. Tanto para adição de 20% de RCD quanto para a mesma porcentagem de ARC. O uso de RCC foi favorável, inclusive com 100%, o que garantiu aumento de 52% na resistência aos 1253 dias.

Os ensaios com os novos traços confirmaram que a indicação de 7,5% de AST é a dosagem ideal deste material, ou seja, apresenta melhor desempenho quanto à resistência à compressão.

Os traços novos, por terem menor módulo de elasticidade são favoráveis para a pavimentação, porém para o traço que apresentou a combinação 10% AST e 30% RCD não é aconselhável o uso na relação  $a/c=0,5$  devido à ocorrência de bicheiras.

Em relação à resistência à compressão, os traços que não foram detectados problemas como carbonatação e ocorrência de bicheiras, são favoráveis para serem utilizados na pavimentação.

Como sugestão para continuidade deste trabalho fica a aplicabilidade dos traços com melhor desempenho em obras que foram fiscalizadas e acompanhadas pela SEOP (Secretaria de Estado de Obras Públicas), como o pavimento do Jardim Botânico de Londrina e estacionamentos executados em pavimento asfáltico de alguns colégios estaduais do Estado do Paraná.

Outra sugestão é analisar os custos para realização do *Whitetopping* com os traços que obtiveram melhor desempenho e comparar com o *Whitetopping* realizado somente com concreto.

A proposta vai de encontro à política de sustentabilidade e sua importância para obras públicas diz respeito a um grande potencial de reaproveitamento de materiais da construção civil que são destinados de forma irregular em rios, fundos de vale, entre outros, tendo como consequência, impactos sócio-ambientais como degradação de cursos d'água, contaminação, aparecimento de vetores causadores de doenças.

Esta proposta engloba diversas áreas de interesse do Poder Público como, por exemplo, a destinação adequada de RCC, aumentando a disponibilidade de materiais e agregando valor para o mesmo e a necessidade de realizações de reparos e manutenções periódicas em vias e edificações públicas com estes materiais, dando um conceito de sustentabilidade para as áreas e obras públicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUADO, A.; AGULLÓ, L.; CÁNOVAS, M. F. & SALLA, J. M. **Diagnóstico de daños y reparación de obras hidráulicas de hormigón**. Monografias 19, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madri, 1996.

ALY, O. **Pneus inservíveis - Alternativas para redução desse passivo ambiental**. 1 ed. ABES, 2006. p.56-57.

ANGULO, S. C. **Produção de concretos de agregados reciclados**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil. Londrina, 1998.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Determinação dos teores de concreto e argamassa em agregados graúdos de resíduos de construção e demolição**. In Anais do 43º Congresso Brasileiro do Concreto, 2001, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2001. 1-15 p.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo, 2001.

ANGULO, Sergio C; JOHN, Vanderley M. **Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade**. In: Anais do IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu: ENTAC, 2002. p. 613-1624

ANGULO, S.C. et al. **Desenvolvimento de Novos Mercados para a reciclagem massiva de RCD**. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto – especificações**. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Classificação de resíduos sólidos urbanos**. São Paulo, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil – Utilização em**

**pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** São Paulo, 2004.

ASSUMPÇÃO, S.M. et al. **Concreto de Alto para Pavimentos.** In: Anais...do Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Paviments and Technological Control, 2001, Auburn, Alabama. Auburn, Alabama Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Paviments and Technological Control, 2001. p.1-16

CASSA, J. C. S. (in memórian); CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. **Projeto Entulho Bom.** Ed. UFBA, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 258 – Destinação de pneus inservíveis e outras providências.** Brasília, 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 301 – Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 416 – Destinação de pneus novos e usados e outras providências.** Brasília, 2009.

CUGLER, C. S. **Estudo da adição de raspas de pneu e entulho de construção na produção de concreto para reparos em pavimentos asfálticos.** Monografia de Especialização. Londrina, 2004.

CUNHA, L. **Utilização de borracha de pneu como material de pavimentação asfáltica.** Programa de Iniciação Científica. Maringá, 2000.

DICAS ABESC - **Recomendações da ABESC para tornar sua construção mais econômica e segura.** Editora ABESC, 2000.

ECONEWS - Revista do Anel de Integração do Paraná. 7ª edição - jan/fev 2002.

GUNTHER, W.M.R. **Minimização de resíduos e educação ambiental.** In: Anais do SEMINÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. Curitiba, 2000. Curitiba, 2000.

INTERNATIONAL CONFERENCE HELD AT THE UNIVERSITY OF SHEFFIELD, **Infrastructure regeneration and rehabilitation improving the quality of life through better construction.** A vision for the next Millennium. Proceedings, Sheffield, 1999. 1326p.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** Tese (mestrado). São Paulo, 1997.

MALHOTRA, V. M. **Concrete Technology, Past, Present and Future.** Proceedings of Symposium. ACI SP-144, Detroit, 1994. 683p.

MANUAL DE WHITE TOPPING. **Manual descritivo dos tópicos da pesquisa.** DNER, 1998.

MEHTA, P.K., Symposium on **Durability of concrete. But concrete can be durable.** Khayat & Aitcin Editors, Third CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Nice, 1994. 335p.

MORALES, G. & ANGULO, S. C. **Viabilidade da utilização de entulho de obra na produção de concreto para a recuperação de pavimentos.** Simpósio Internacional de Pavimentos Rígidos. Lisboa, 2000.

MORALES, G. et al. **Use of Recycled Aggregates in Whitetopping with Addition of Automotive Tires Scraps.** In. Anais do : 9<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, 2004, Istambul. Istambul, 9<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, 2004. 1-11p.

MORALES, G.; CUGLER, C. S.; MENDES, T.M. **Reparo de Pavimentos Rodoviários Utilizando Concreto com Incorporação de Resíduos Sólidos Urbanos.** In: 12<sup>a</sup> Reunião de Pavimentação Urbana, 2003, Aracajú. Anais... Aracajú, 12<sup>a</sup> Reunião de Pavimentação Urbana, 2003. p.1-10

MORALES, G.; MENDES, T.M. In: Anais do **13<sup>a</sup> Reunião de Pavimentação Urbana.** 2004, Maceió. Maceió, 13<sup>a</sup> RPU, 2004. p.1-5

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo. Ed. Pini, 1997

PINHEIRO, J. H. M. **Incorporação de borracha moída em misturas asfálticas de diferentes granulometrias.** Dissertação de Mestrado. Fortaleza, 2004: 46-53p.

PINHEIRO, J.H. M et. al. **Caracterização de misturas asfálticas com borracha produzidas pelos processos úmido e seco.** In: XVII ANPET, 2003, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, XVII ANPET, 2003. p.1-15

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese de Doutorado. São Paulo, 1999.

**Progress in concrete technology,** Canada Communication Group - Publishing, Ottawa, 1980. 796p.

RAMACHANDRAN, V.S., FELDMAN, R.F. & BEAUDOIN, J.J., **Concrete Science. Treatise on current research.** Heyden & Son Ltd., London, 1981. 427p.

SAKAI, K., BANTHIA, N. & GJORV, O.E. **Concrete under severe conditions. Environment and loading.** v.1 e v.2, E&FN Spon, Londres, 1995, 1773p.  
Site [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br) <<http://www.abnt.org.br>> - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Acesso em 19/06/2007, 19:33:37.

YONEYAMA, S. **Abordagem das possíveis soluções para o problema de resíduos de pneus.** Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil. Londrina, 2002.