

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS
INTERTRAVADOS E BETUMINOSOS EM ÁREAS URBANAS**

DENISE BARROSO ANDRADE CARVALHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr Marcos Antonio Garcia Ferreira

São Carlos

2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C331cu

Carvalho, Denise Barroso Andrade.

Considerações sobre a utilização de pavimentos intertravados e betuminosos em áreas urbanas / Denise Barroso Andrade Carvalho. -- São Carlos : UFSCar, 2011. 110 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Pavimentos. 2. Trafegabilidade. 3. Sustentabilidade. 4. Economia. I. Título.

CDD: 625.8 (20ª)

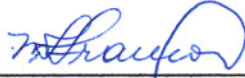


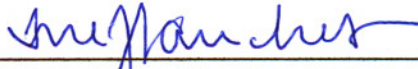
FOLHA DE APROVAÇÃO


DENISE BARROSO ANDRADE CARVALHO

Dissertação defendida e aprovada em 25/10/2010
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Marcos Antonio Garcia Ferreira
Orientador (DECiv/UFSCar)


Prof.^a Dr.^a Maria Teresa Françoso
(DGT-FEC/UNICAMP)


Prof.^a Dr.^a Suely da Penha Sanches
(DECiv/UFSCar)


Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Presidente da CPG-EU

Dedicatória:

Ao meu pai, que me ensinou a coragem e o trabalho;
À minha mãe, que me ensinou o equilíbrio e a serenidade;
À minha irmã, que me ensinou a alegria e sorriso.

Agradecimentos:

A Deus;

Ao Professor Dr. Marcos Antonio Garcia Ferreira, pela orientação através de discussões e intervenções construtivas, pelo apoio, amizade e incentivo ao longo da pesquisa, e por ensinamentos transmitidos que contribuíram muito para minha formação profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, por fornecer as condições necessárias e tornar a realização desta pesquisa viável.

À minha família, que é meu porto seguro, principalmente minha mãe, grande incentivadora em todas as fases da minha vida.

À minha tia Teresa Barroso, pela presença sempre agradável e ao meu tio Carlos Eduardo Barroso Vieira, por me receber em sua casa durante minha especialização em inglês na Universidade de Boston, nos Estados Unidos.

Aos meus amigos: Patricia Medeiros, Charleny Carvalho, Miriely Gancedo, Patricia Pappani, Thais Helena, Carla Fazzari, Plinio Dainezi e Marcio Pontes, pela amizade, e pelo apoio durante a realização desta pesquisa.

À Eduardo Schiavetto, engenheiro de produção e graduando em engenharia civil, que tornou a realização deste trabalho mais leve, auxiliando na execução dos ensaios;

À todos os profissionais que contribuíram de alguma forma com a realização deste trabalho, citando principalmente:

Sr. Eduardo Carvalho, engenheiro civil e sócio-diretor da Construtora e Incorporadora Berna Ltda;

Professor Dr. Edson Moura, engenheiro civil e responsável pelo laboratório da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LTP/USP).

Prof. Sandoval Soares Silveira, engenheiro civil e professor da Fundação de Ensino Superior de Passos, instituição conveniada com a Universidade Estadual de Minas Gerais (Fesp/UEMG).

Prof. Oswaldo Barbosa, engenheiro civil, professor da Fundação de Ensino Superior de Passos – Fesp/UEMG e funcionário do departamento de obras da Prefeitura Municipal de Passos.

Sra. Suzana Garrido, engenheira civil e consultora em segurança do trabalho.

Sr. Amauri de Souza, técnico de laboratório da Construtora e Incorporadora Berna Ltda.

Resumo

A realidade da pavimentação na maioria das cidades brasileiras de pequeno e médio porte geralmente é a execução das vias urbanas desprovidas de estudo, planejamento e dimensionamento. Esta situação ocasiona menor vida útil dos pavimentos, alto custo de manutenção, e maior degradação ambiental. Considerando este cenário, aliado ao fato de que os recursos financeiros destinados para a pavimentação urbana são em geral insuficientes, visto que também há uma grande necessidade de melhoria em outras áreas sociais, como saneamento básico, saúde e educação, este trabalho busca estabelecer diretrizes para auxiliar as administrações municipais a escolher melhor o tipo de pavimento a ser utilizado, considerando os aspectos de trafegabilidade, ambientais e econômicos. É ainda imperativo observar os custos das novas exigências ambientais na execução dos pavimentos, gerados principalmente pelo encarecimento de adequação do processo de produção, e pelas taxas cobradas trimestralmente e recolhidas para os órgãos ambientais. Este estudo contempla os pavimentos intertravados e betuminosos (tratamento superficial duplo e concreto betuminoso usinado à quente). É apresentado um estudo de caso na cidade Passos, no estado de Minas Gerais, buscando fazer uma análise comparativa do desempenho destes dois tipos de pavimentos. O resultado permitiu reunir um conjunto extenso de variáveis que podem ser usadas na definição dos aspectos econômico, de trafegabilidade e ambiental. Permitiu também a avaliação satisfatória dos métodos escolhidos para análise comparativa feita pelo estudo de caso.

Palavras-chave: Pavimento. Trafegabilidade. Sustentabilidade. Economia.

Abstract

The reality of pavement in médium and small brazilian cities is the execution of urban roads devoid of study, planning and sizing. This situation occurs a less useful life, a big maintenance cost and a big environmental degradation. Concerning this situation, allied the fact of the financial resources are usually insufficient since there is also the necessity of improvement in other social areas like basic sanitation, health and education, this work searches to establish guideline to help minicipal administrations to choose better the type of pavement to be used, concerning the trafficability, environmental and economic aspects. It is still imperative, it notes the cost of new ambiental requirement in the execution of paviments generating main for production process, and for taxes quarterly collected for the public organ. This study contemplates the interlocked and bituminous (bituminous hot machined concrete) pavements. It is presented a study of case in Passos city, Minas Gerais, searching to do a comparative analysis of these two types of pavements accomplishment. The result permitted to collect an extense group of variables that can be used for definition of economic, tafficability and environmental aspects. It also permitted a satisfactory evaluation of choosed methods for comparative analysis done by case study.

Keywords: Pavement. Trafficability. Sustainability. Economy.

Lista de Figuras:

Figura 2.1: Cargas aplicadas no pavimento e as tensões decorrentes delas	24
Figura 2.2: Tipos de deslocamentos resistidos por intertravamento	34
Figura 2.3: Distribuição de tensões no interior de um pavimento intertravado	35
Figura 2.4: Paralelepípedos	36
Figura 2.5: Alvenaria poliédrica – Via Appia Roma	36
Figura 2.6: Rua interna com blocos de concreto pré-moldados	36
Figura 2.7: Tipos de arranjos recomendados com peças intertravadas de acordo com a intensidade do tráfego	38
Figura 2.8, 2.9 e 2.10: Vegetação nas juntas, desnivelamento da superfície e deformações	41
Figura 3.1: Exemplo de medição de IRI	43
Figura 3.2: Pêndulo britânico	50
Figura 3.3: Drenômetro do laboratório de tecnologia de pavimento da USP – SP	52
Figura 3.4: GripTester Rebocável	53
Figura 3.5: Diferenças entre macrotextura e microtextura	53
Figura 3.6: Funcionamento do Road Energy System no verão	62
Figura 3.7: Funcionamento do Road Energy System no inverno	62
Figura 3.8: Funcionamento do Road Energy System	63
Figura 3.9: Funcionamento do Road Energy System	63
Figura 5.1: Localização de Passos	80
Figura 5.2, 5.3 e 5.4: Visão Geral, Pavimento CBUQ e Pavimento intertravado	81
Figura 5.5, 5.6 e 5.7: Visão Geral, Pavimento CBUQ e Pavimento intertravado	81
Figura 5.8, 5.9 e 5.10: Visão Geral, Pavimento CBUQ e Pavimento intertravado	81
Figura 5.11: Materiais utilizados	88
Figura 5.12: Drenômetro	91
Figura 5.13: Rolha de silicone	91
Figura 5.14: Decibelímetro tipo TES 1350	94
Figura 5.15: Volkswagen Gol	95
Figura 5.16: Honda Civic	95
Figura 5.17: Leitor de temperatura	97
Figura 5.18 e 5.19: Termômetro com bulbos úmido, seco e normal sobre o tripé	97

Lista de Tabelas:

Tabela 2.1: Características de uso das vias urbanas	25
Tabela 2.2: Capacidade e geometria das vias urbanas	25
Tabela 2.3: Causas e tipos de deformação permanente	33
Tabela 2.4: Formato de blocos de concreto	36
Tabela 2.5: Classificação de vias	39
Tabela 3.1: Relação entre a condição do pavimento e o valor de IRI	44
Tabela 3.2: Previsão de custos operacionais	45
Tabela 3.3: Equações propostas para atualização cambial e inflacionária do custo operacional dos veículos	46
Tabela 3.4: Classificação da textura de um pavimento	50
Tabela 3.5: Taxa trimestral TCFA	55
Tabela 3.6: Taxa TFAMG	57
Tabela 3.7: Destinações ambientalmente adequadas para pneus	58
Tabela 3.8: Comparação da variável economia em pavimentos urbanos flexíveis e intertravados	65
Tabela 3.9: Comparação da variável trafegabilidade em pavimentos urbanos flexíveis e intertravados	67
Tabela 3.10: Comparação da variável aspectos ambientais em pavimentos urbanos flexíveis e intertravados	68
Tabela 4.1: Métodos de avaliação x Parâmetros selecionados para fatores econômicos	72
Tabela 4.2: Métodos de avaliação x Parâmetros selecionados para fatores de trafegabilidade	72
Tabela 4.3: Classificação da macrotextura tendo como parâmetro a altura média de areia e sua aplicação para revestimentos	73
Tabela 4.4: Resultados de ICPF x Estado de conservação do pavimento	75
Tabela 4.5: Fatores ambientais: Parâmetros analisados e método de análise	76
Tabela 5.1: Custos de construção, conservação e recuperação de vias com pavimento betuminoso	82
Tabela 5.2: Custos de conservação, conservação e recuperação de vias com pavimento intertravado	82
Tabela 5.3: Atualização inflacionária e cambial de custos operacionais	83
Tabela 5.4: Cenário I	84
Tabela 5.5: Cenário II	84
Tabela 5.6: Atualização inflacionária e cambial de custos operacionais	86
Tabela 5.7: Resultado ensaio da mancha de areia	89
Tabela 5.8: Resultado ensaio da mancha de areia	89
Tabela 5.9: Alturas encontradas para o ensaio da mancha de areia	90
Tabela 5.10: Alturas encontradas para o ensaio da mancha de areia	90
Tabela 5.11: Classificação das vias analisadas em função da textura	90
Tabela 5.12: Resultado do ensaio de drenabilidade	92

Tabela 5.13: Resultado do ensaio de drenabilidade	92
Tabela 5.14: Resultado do levantamento visual contínuo	94
Tabela 5.15: Resultado da medição por decibelímetro	96
Tabela 5.16: Resultado do ensaio por termômetro	98
Tabela 5.17: Resultado do ensaio por termômetro	98
Tabela 5.18: Resumo dos resultados obtidos no estudo de caso	99

Lista de Gráficos:

Gráfico 5.1: Custos operacionais de veículos x rugosidade	87
Gráfico 5.2: Vazão (l/s) x Altura de areia (mm)	93

Lista de abreviaturas e siglas:

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
Art.	Artigo
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	Califórnia Bearing Ratio
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
Conama	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COV	Custo de Operação Veicular
DER	Departamento de Estrada e Rodagens
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes
ELSYM	Elastic Layered System
EUA	Estados Unidos da América
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FR	Fator Climático Regional
FV	Fator de Veículo
GEIPOT	Grupo de Estudos para a Integração da Política de Transportes
HRB	Highway Research Board
IAC	Índice de Atualização Cambial
IAI	Índice de Atualização Inflacionária
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBUTG	Índice de Bulbo Úmido-Termômetro do Globo
ICF	Índice de Condição Funcional
ICPF	Índice de Conforto do Pavimento Flexível
ICPI	Interlock Concrete Pavement Institute
IDS	Índice de Defeitos de Superfície

IEF	Instituto Estadual de Floresta
IG	Índice de Grupo
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IGG	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
IP	Instrução de Projeto
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	Índice Internacional de Rugosidade
IS	Índice de Suporte
ISC	Índice de Suporte Califórnia
ISETH	Institute of Highways Railroads and Rock Engineering de Zurique
KLA	Koury Lopes Advogados
LTP/USP	Laboratório da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
LVC	Levantamento Visual Contínuo
MG	Minas Gerais
MPa	Mega Pascal
MR	Módulo de Resiliência
NBR	National Board of Review
P	Período
PCA	Portland Cement Association
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PRO	Procedimento
QI	Coeficiente de Irregularidade
SEMAD	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
Sisema	Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIURB	Secretaria Municipal de Infra-Estrutura Urbana e Obras
SP	São Paulo
TCFA	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental
TER	Terminologia
TFAMG	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental de Minas Gerais
TSD	Tratamento Superficial Duplo
UNDP	United Nations Development Programme
USACE	United States Corps of Engineers
USP	Universidade de São Paulo

VSA Valor de Serventia Atual

Lista de símbolos:

B	Base
cm	Centímetros
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cr\$	Cruzeiro Real
DB	Decibel
ϵ_t	Deformação
Fa	Frequência absoluta
Fp	Fator de produção
Fr	Frequência relativa
H _{BG}	Espessura da base granular
H _{CCR}	Espessura de base de concreto compactado
H _{CCRMín}	Espessura mínima de base de concreto compactado
H _m	Espessura total do pavimento
H _n	Espessura do pavimento acima do reforço de subleito
H ₂₀	Espessura do pavimento acima da sub-base
K _b	Coefficiente de equivalência estrutural da base
K _{CCR}	Fator de equivalência estrutural da base cimentada
Km	Kilômetros
K _r	Coefficiente de equivalência estrutural do revestimento
K _{Ref}	Coefficiente de equivalência estrutural de reforço
K _s	Coefficiente de equivalência estrutural da sub-base
m	Metros
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetros
N	Número de operações de um eixo padrão
P _i	Porcentagem de veículos
°C	Graus Celcius
Q	Carga
R	Revestimento
R\$	Real

t	Taxa de crescimento
t_{on}	Tonelada
t_{bn}	Temperatura no bulbo úmido natural
t_{bs}	Temperatura de bulbo seco
t_g	Temperatura de globo
U\$	Dólar
V	Velocidade
V_1	Volume de tráfego no ano inicial de projeto
V_t	Volume de tráfego total
λ	Comprimento de onda
σ_0	Tensão normal
σ_t	Tensão de tração
τ_0	Tensão de cisalhamento

Sumário

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Histórico	18
1.2 Justificativa	19
1.3 Objetivos	20
1.3.1 Objetivo geral	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
2 PAVIMENTO	22
2.1 Histórico	22
2.2 Função do pavimento	23
2.3 Composição do pavimento	26
2.4 Pavimento Betuminoso(Flexível)	28
2.4.1 Conceito e generalidades	28
2.4.2 Dimensionamento	29
i. Método de Dimensionamento do DNER	30
ii. Módulo de Resiliência	31
2.4.3 Manutenção dos Pavimentos Flexíveis	31
2.5 Pavimento Intertravado	34
2.5.1 Conceito e generalidades	34
2.5.2 Dimensionamento	38
i. Método IP 06 – Prefeitura Municipal de São Paulo – Instrução para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto	39
2.5.3 Manutenção	40
3 FATORES DE CARACTERIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS URBANOS FLEXÍVEIS E INTERTRAVADOS	42
3.1 Economia	42
3.2 Aspectos de Trafegabilidade	47
3.3 Aspectos ambientais	54
3.3.1 Danos ambientais referentes à produção do revestimento	54
i. Lei 10.165	55
ii. Resolução Deliberativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 74/2004	56
iii. Decreto Estadual 44.045	57
3.3.2 Danos ambientais provenientes da aplicação do pavimento no solo	57
3.3.3 Possibilidade de incorporação de resíduos na produção ou aplicação do pavimento de alguns materiais de difícil incorporação	58
i. Utilização de pneus	58
ii. Reutilização de resíduos do próprio pavimento	60
iii. Outras utilizações: Utilização do asfalto como gerador de energia	61
3.4 Tabelas comparativas	64
4 METODOLOGIA	70
4.1 Etapas da pesquisa	70
4.2 Método da pesquisa	70
4.2.1 Métodos utilizados para avaliar fatores econômicos	70
4.2.2 Métodos utilizados para avaliar fatores de trafegabilidade	72
4.2.3 Métodos utilizados para avaliar aspectos ambientais	75

5 ESTUDO DE CASO	79
5.1 Introdução	79
5.2 Caracterização do objeto	79
5.3 Identificação dos trechos escolhidos	80
5.4 Aplicação da metodologia	82
5.4.1 Economia	82
i. Custos de construção, conservação periódica e reabilitação	82
ii. Custos operacionais	84
5.4.2 Trafegabilidade	88
i. Ensaio da mancha de areia	88
ii. Ensaio de drenabilidade	91
iii. Levantamento visual contínuo	93
5.4.3 Aspectos ambientais	94
i. Decibelímetro	94
ii. Ensaio para medição da temperatura	97
5.5 Resumo dos resultados obtidos	99
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

A urbanização no Brasil ocorreu de forma intensa, principalmente devido à industrialização e à modernização das atividades agrárias. Se compararmos os dados do Censo do ano de 1940 e do ano 2000, notamos que ao longo de 60 anos, foram criados 3.933 municípios, alcançando um total de 5.507. Atualmente existem 5.564 municípios.

O grande incremento quanto à criação de municípios incidiu naqueles com até cinco mil habitantes. Em 1940, 54,4% dos municípios possuíam população até 20 mil habitantes, já em 2000, essa porcentagem passou a 73% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008). Em 60 anos, a população que vive nas cidades aumentou quase onze vezes, tornando o Brasil um dos países com maior porcentagem de população urbana do mundo.

A maioria destas cidades se desenvolveu de forma desorganizada e passou a conviver com vários problemas sociais e ambientais gerados devido à falta de planejamento adequado.

Visando solucionar estes problemas de urbanização e criar mecanismos de planejamento para o desenvolvimento destas cidades, os gestores municipais têm feito uso de um recurso chamado planejamento urbano-ambiental, que cria parâmetros e diretrizes, procurando garantir o desenvolvimento urbano sustentável quanto ao meio-ambiente, e quanto à qualidade de vida.

De forma geral, o planejamento urbano-ambiental é um método eficaz, de caráter contínuo e permanente, que serve para disciplinar o uso e ocupação do solo, bem como definir as áreas de expansão da cidade e garantir que o meio ambiente seja preservado. Ele é feito considerando as necessidades de cada sociedade com a função de minimizar os problemas gerados e prever as conseqüências da ocupação urbana. É realizado conjuntamente entre as prefeituras e os órgãos de proteção ambiental.

Embora o planejamento urbano-ambiental no Brasil só esteja sendo implantado após a desorganização espacial ter sido instalada e tornada realidade, ele ainda é um instrumento indispensável para ordenar a expansão das cidades.

A gestão da infra-estrutura das vias públicas urbanas se insere dentro deste planejamento, como sendo um item de relevância para a qualidade de vida, uma vez que os

congestionamentos e a falta de ruas pavimentadas figuram entre os principais problemas urbanos.

A necessidade de pavimentar um grande número de vias na maioria das cidades brasileiras de pequeno e médio porte torna a aplicação de um modelo de planejamento ambiental, durante as fases de elaboração de projeto de pavimentação, muito importante. Isso se justifica porque a intervenção física e os serviços especificados para a abertura e pavimentação destas vias urbanas podem modificar significativamente o meio-ambiente, e trazer problemas graves de degradação ambiental, como a geração de resíduos e de agentes nocivos ao solo, além de contribuir com sua impermeabilização, modificando o escoamento superficial e provocando alterações no micro-clima urbano.

1.2 Justificativa

A preocupação com a implementação de uma gestão viária urbana eficaz justifica-se pela observância próxima da realidade brasileira quanto à pavimentação, que apresenta escassez de recursos econômicos disponíveis, ao mesmo tempo em que o custo de execução dos pavimentos sofre altas constantes.

Os recursos financeiros destinados para a pavimentação urbana são em geral insuficientes, visto que também há uma grande necessidade de melhoria em outras áreas sociais, como saneamento básico, saúde e educação.

É ainda imperativo observar os custos das novas exigências ambientais na execução dos pavimentos, que atualmente são determinadas pelos órgãos ambientais estaduais e federais e consistem principalmente no controle do lançamento de poluentes (atmosféricos, efluentes líquidos e sólidos) na natureza, gerados no processo de produção.

Faz-se necessário então, otimizar a aplicação dos recursos financeiros disponíveis através da seleção dos tipos adequados de pavimentação a serem utilizados, para que possa ser atendida uma maior quantidade de bairros, levando em conta as necessidades de cada área, e respeitando o meio-ambiente.

A escolha do tipo de pavimento adequado ao local de implantação deve prever, além da qualidade de rolamento, durabilidade e sustentabilidade, também os custos de construção, manutenção, recuperação e operacionais.

A necessidade de construção de um ambiente mais sustentável torna-se cada vez mais importante, e esta mudança deve-se traduzir em todas as áreas profissionais, chegando

também à pavimentação, e com isto criando a necessidade de adaptação deste setor às questões ambientais.

A pesquisa realizada surge neste contexto, e pretende contribuir com a formulação de indicadores para subsidiar a otimização das decisões relacionadas à escolha do tipo de material a ser utilizado no calçamento das vias urbanas.

Esta otimização pode contribuir para a viabilidade econômica e ambiental do pavimento proporcionando benefícios sociais, tais como: aumento do atendimento de ruas com calçamento, diminuição de doenças respiratórias que têm origem na poeira das ruas não pavimentadas, diminuição do tempo da viagem, diminuição dos custos operacionais dos veículos, principalmente quanto a pneus e amortecedores, melhoria da acessibilidade, diminuição de gastos com manutenção de vias, diminuição da poluição ambiental e sonora, diminuição do lançamento de agentes nocivos ao meio e melhoria das condições gerais de vida da população.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo principal da pesquisa é avaliar a adequabilidade do uso de dois tipos de pavimentos – flexíveis e intertravados – em cidades de pequeno e médio porte considerando os fatores relacionados aos aspectos econômicos, ambientais e de trafegabilidade (conforto e segurança). Os pavimentos flexíveis são aqueles cuja camada de revestimento é composta de misturas asfálticas e os intertravados são aqueles construídos com revestimento de blocos de concreto pré-moldados.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos secundários da pesquisa são:

- Seleção das variáveis de caracterização dos fatores relacionados aos aspectos: econômico, ambiental e trafegabilidade;
- Quantificação destas variáveis através de um estudo de caso realizado em trechos de vias urbanas, construídos com dois tipos de pavimentos, na cidade de Passos, MG.

Para atingir os objetivos propostos a pesquisa foi desenvolvida em três etapas:

- I. Revisão da bibliografia envolvendo conceitos e definições sobre as variáveis dependentes: custo total, trafegabilidade, fatores ambientais e características dos pavimentos flexíveis e intertravados (articulados);
- II. Elaboração de planilha comparativa abordando os fatores que podem ser relacionados às variáveis (custo total, trafegabilidade e fatores ambientais) de caracterização dos dois tipos de pavimentos;

Pesquisa de campo para coleta de dados e informações a respeito dos fatores relacionados às variáveis (custo total, trafegabilidade e fatores ambientais), em um estudo de caso na cidade de Passos, MG e desenvolvimento de procedimentos para a realização de uma análise comparativa entre os dois tipos de pavimentos: flexíveis e intertravados. Esta pesquisa avalia comparativamente o pavimento intertravado e pavimento betuminoso em relação às suas variáveis de caracterização e ao desempenho, buscando fornecer parâmetros de custos dos pavimentos e de sustentabilidade ambiental para, se possível, auxiliar às administrações municipais de cidades de pequeno e médio porte na definição do tipo de pavimentação mais adequado a ser utilizado nas vias urbanas.

Outros tipos de pavimentos não serão considerados. O caráter deste trabalho é de contribuição aos estudos desta natureza e não tem a pretensão de esgotar o assunto.

2 PAVIMENTO

2.1 Histórico

“O homem, a fim de obter melhor acesso às áreas cultiváveis e às fontes de matéria-prima, como madeira, rochas, minerais e água, além do desejo de expandir sua área ou território de influência, criou o que chamamos de estradas, cuja lembrança mais remota provém da China – país que as inventou.” (BALBO, 2007, p. 13).

A origem dos pavimentos começou com as trilhas de terra no meio das vegetações. Depois, evoluiu com a colocação de pedras em estado natural sobre o terreno, e posteriormente passou-se a talhar as pedras para se conseguir um melhor ajuste entre elas e possibilitar a passagem dos veículos de tração animal, que exigiam uma superfície de rolamento um pouco mais uniforme e resistente.

Regras e normas para a construção de estradas se desenvolveram principalmente, segundo Balbo (2007), entre 1825 e 1895, em que ocorreram períodos de consolidação de diversas teorias, como a elasticidade, resistência dos materiais, geodésica e geometria prática.

Com a utilização do automóvel movido por motor à explosão, a partir da década de 1880, tornou-se necessária a aplicação das técnicas de pavimentação que estavam sendo desenvolvidas e a utilização de materiais mais apropriados para o ritmo de pavimentação exigido, pois tinha-se tornado pouco econômico e nada prático talhar grandes quantidades de pedra.

Na segunda metade do século XIX, houve, então, uma expansão da utilização do cimento portland, ocorrendo seu uso também na pavimentação.

O concreto foi utilizado na pavimentação pela primeira vez em Grenoble (França) em 1876, segundo Balbo (2007), e ainda no mesmo ano em Bellafontaine (Estados Unidos). (CORINI¹, 1947 apud BALBO, 2007).

De acordo com Balbo (2007), em 1870 foi construído o primeiro pavimento com revestimento betuminoso na cidade de Newark, estado de New Jersey, nos Estados Unidos.

A partir daí foram se desenvolvendo pesquisas e órgãos responsáveis pela normatização na pavimentação, com a construção de pistas experimentais, principalmente nos Estados Unidos. Os principais órgãos que se destacam são: American Association of State

¹ CORINI, F. **Scienza e técnica delle costruzioni stradali e ferroviarie**. Milano: Editore Ulrico Hoepli, 1947.

Highway and Transportation Officials (AASHTO), Highway Research Board (HRB), United States Army Corps of Engineers (USACE), California Division of Highways e Portland Cement Association (PCA).

Os estudos feitos pelos órgãos citados acima não contemplam os solos e os climas representativos do Brasil, mas seu uso é ainda recomendado em nosso país.

Outro tipo de revestimento que tem sido utilizado como alternativa a aquele que faz uso do betume é o pavimento intertravado, embora segundo Senço (2007), seja um material utilizado no Brasil já há cerca de cinquenta anos atrás, quando se pavimentou experimentalmente alguns trechos de vias em São Paulo. Esse tipo de revestimento recentemente começa a ganhar parcelas consideráveis do mercado, utilizando inclusive vários modelos de blocos com formatos e dimensões variados em diversas cores.

2.2 Função do pavimento

O pavimento é uma estrutura construída sobre a camada final de terraplenagem e destina-se a receber as tensões oriundas da passagem do tráfego por ele, resistindo e distribuindo ao terreno de fundação (subleito) os esforços verticais e resistindo os esforços horizontais.

É também atribuída ao pavimento a função de melhorar a trafegabilidade, oferecendo aos usuários condições de mobilidade e acessibilidade com conforto, segurança e economia.

Pavimentar uma via de circulação de veículos é uma obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais). Seja qual for a melhoria física oferecida, ao se dar condição para uma via de melhor qualidade de rolamento, automaticamente proporciona-se aos usuários uma expressiva redução nos custos operacionais, haja visto que os custos de operação e manutenção dos veículos estão associados às condições de superfícies dos pavimentos. A regularidade também permite o deslocamento à maior velocidade, que, por um lado, representa maior consumo de combustível, e por outro, economia nos tempos de viagem. (BALBO, 2007, p. 15)

Quando um pavimento é solicitado por uma carga Q de um veículo, que se desloca sobre o revestimento com uma velocidade V , fica sujeito a uma tensão normal na direção vertical σ_0 (de compressão) e uma tensão cisalhante na direção horizontal τ_0 (de cisalhamento). As camadas componentes da estrutura do pavimento possuem a função de

diluir a tensão vertical aplicada na superfície para que o subleito receba uma parcela muito inferior desta tensão vertical, representada por P_1 . A tensão horizontal aplicada na superfície exige que o revestimento possua uma coesão mínima para suportar a parcela do esforço de cisalhamento (SANTANA², 1993 apud MÜLLER, 2005).

A figura 2.1 mostra as tensões a que estão sujeitos os pavimentos.

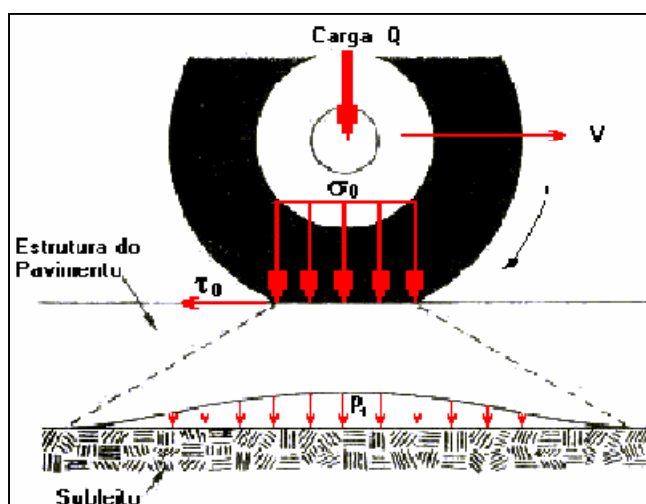


Figura 2.1: Cargas aplicadas no pavimento e as tensões decorrentes a elas.
Fonte: SANTANA², 1993 apud MÜLLER, 2005, p. 8.

A capacidade de resistência do pavimento deve ser adequada ao número de solicitações de trânsito que ele irá suportar. Assim, para o dimensionamento dos pavimentos, deve-se classificar as vias urbanas, em função do número estimado destas solicitações, nas seguintes hierarquias: locais, coletoras, arteriais e expressas.

A Tabela 2.1 mostra algumas das características de uso destas vias

² SANTANA, H. Manual de pré-misturado a frio. IBP.1993

Tabela 2.1: Características de uso das vias urbanas

CARACTERÍSTICAS	LOCAIS	COLETORAS	ARTERIAL	EXPRESSAS
ATIVIDADE PREDOMINANTE	Tráfego de início ou fim de viagem	Serviço de transporte público e tráfego de médias distâncias	Tráfego de longas distâncias	Tráfego de longas distâncias
ATIVIDADE DE VEÍCULOS PESADOS	Reduzido à necessidade de entrega dos logradouros	Tráfego de passagem	Conveniente para todas as travessias	Conveniente para todas as travessias
TRÁFEGO LOCAL	Predominante	Significativo	Pouco significativo	Nulo
TRÁFEGO DE PASSAGEM	Nulo	Pouco existente	Predominante	Predominante

Fonte: Adaptado de ALBANO, 2008.

Esta classificação pode ser alterada a critério próprio de cada município, incluindo sub-hierarquias de vias.

A Tabela 2.2 mostra a classificação das vias, de acordo com a Prefeitura Municipal de São Paulo, segundo a capacidade e a geometria.

Tabela 2.2: Capacidade e geometria das vias urbanas

Função	Volume máximo/dia		Volume máximo/dia	Volume máximo/hora	Geometria necessária	
	Veículos leves	Caminhões e ônibus	Total de veículos	Estimado 10% total	Largura da faixa	Nº de faixas
Via local residencial com passagem	400	20	480	50	4 a 5	1
Via coletora secundária	1500	100	1900	200	5 a 6	2
Via coletora principal	5000	300	6200	650	6 a 7	2
Via arterial	10000	1000	14000	1500	>8	>=3
Via arterial principal ou expressa	>12000	2000	20000	2000	>12	>=4

Fonte: SÃO PAULO, 2002a, p. 40.

Além do número de solicitações admitido em cada hierarquia da via, é importante também levar em consideração a velocidade a ser desenvolvida. Os artigos 60 e 61 do Código Brasileiro de Trânsito, considerando os parâmetros de segurança, estabelecem as velocidades a serem adotadas caso não haja sinalização da entidade de trânsito responsável, da seguinte

maneira: via local: 30Km/h; via coletora: 40Km/h; via arterial: 60Km/h e via de trânsito rápido: 80Km/h.

2.3 Composição do pavimento

O pavimento é constituído por uma seqüência de camadas, assentadas sobre o terreno de fundação da via, de espessuras determinadas segundo os tipos de materiais escolhidos, através de um método de dimensionamento, de acordo com a necessidade de utilização da via.

O Manual de Pavimentação, do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, propõe as seguintes camadas para dimensionamento:

- Subleito: é a camada próxima da superfície representando o terreno de fundação do pavimento;
- Reforço de subleito: é uma camada construída acima da camada de regularização do subleito, com espessura regular, com características tecnológicas superiores à camada inferior e inferiores à camada superior;
- Sub-base: é a camada construída acima do reforço de subleito e abaixo da base, considerada uma camada complementar à base, executada, quando aconselhável por razões econômicas (diminuir o custo da base) e tecnológicas (quando não é aconselhável construir a base diretamente sobre o reforço do subleito ou do próprio subleito);
- Base: é a camada imediatamente superior à sub-base e com características superiores a esta, sendo responsável por resistir e distribuir os esforços verticais provindos do tráfego para camadas inferiores.

Há vários tipos de sub-base e base, classificadas de acordo com o comportamento de seus materiais constituintes. O comportamento pode ser rígido, semi-rígido e flexível.

A classificação das sub-bases e bases flexíveis e semi-rígidas, conforme o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infra-Estrutura do Transporte, contempla a divisão entre materiais granulares e estabilizados com aditivos. Os granulares se sub-dividem em materiais de estabilização granulométrica (solo-brita, brita graduada e bica corrida), ou macadame hidráulico, e os materiais estabilizados podem ser aditivados com cimento, cal, betume ou estabilizantes próprios encontrados no mercado especializado.

As bases e sub-bases rígidas, ainda conforme o mesmo documento, podem ser classificadas em concreto plástico e concreto magro, que possui em sua composição um menor teor de cimento.

- Revestimento: é a camada mais nobre do pavimento, tanto quanto possível impermeável. É destinado a propiciar melhores condições de conforto e segurança, além de aumentar a resistência e durabilidade da estrutura. Os tipos de revestimentos são:

1 - Por calçamento articulado:

- Alvenaria poliédrica
- Paralelepípedos
- Blocos de concreto pré-moldados

2 – Revestimentos betuminosos:

- Por penetração: Tratamentos superficiais betuminosos e Macadame betuminoso

- Por mistura:

- Mistura na usina: Pré-misturados de diversas graduações, Areia-betume e Concreto betuminoso.

- Mistura na estrada de diversas graduações e Areia-betume.

3 – Revestimentos rígidos:

- Concreto de cimento
- Macadame cimentado
- Paralelepípedos rejuntados com cimento.

Nem todas as camadas são necessárias na estrutura do pavimento. O dimensionamento de cada uma será feito de acordo com o tipo de pavimentação e os tipos de materiais a serem utilizados, considerando as solicitações do tráfego e a resistência do subleito.

2.4 Pavimento Betuminoso (Flexível)

2.4.1 Conceito e generalidades

Os pavimentos betuminosos são chamados flexíveis por sofrerem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e a carga se distribui entre as camadas. Este tipo de pavimento se caracteriza por apresentar como revestimento uma associação de agregados e materiais betuminosos.

Esta associação pode ser feita de duas maneiras: por penetração ou por mistura.

Os revestimentos asfálticos construídos por penetração são constituídos pelo espalhamento do agregado, seguido da aplicação de asfalto, ou vice-versa, de forma a obter a penetração do ligante betuminoso entre os agregados. A penetração pode ser executada de duas formas:

- Penetração direta: quando a execução é feita mediante o espalhamento prévio de uma camada de brita de granulometria apropriada, que após compressão fica com a espessura desejada, e em seguida a aplicação de material betuminoso, que penetra nos vazios do agregado, e finalmente, o espalhamento de uma brita miúda para o preenchimento dos vazios superficiais, acompanhado de nova compressão. O acabamento se faz com uma capa selante. O revestimento executado com este tipo de penetração é chamado macadame betuminoso;
- Penetração invertida: é a execução do revestimento através de uma aplicação de material betuminoso, seguida de espalhamento e compressão do agregado de granulometria apropriada. Este procedimento pode ser realizado em várias camadas. Se for feita somente a execução de uma camada, chama-se tratamento superficial simples. Com mais de uma camada, denomina-se duplo, triplo ou quádruplo. Os revestimentos betuminosos por mistura ocorrem quando os agregados são envolvidos por material betuminoso antes da aplicação, ou compressão. Esta mistura pode ser feita em usinas, caso dos pré-misturados e concreto asfáltico, ou na pista, sempre à frio, com equipamentos específicos, como a motoniveladora, dando origem aos “Road-mix”.

Os pré-misturados são definidos como um mistura de agregado graúdo, agregado miúdo ou material de enchimento e material betuminoso, e que segundo a temperatura da

usinagem e aplicação do pavimento, são chamados de pré-misturados à quente ou à frio, e que diferenciam-se também quanto à graduação, que pode ser aberta ou densa.

Na usinagem do pré-misturado à frio não é necessário o procedimento de secagem e aquecimento do agregado, enquanto que o pré-misturado à quente precisa deste procedimento.

Os revestimentos pré-misturados à quente e concreto asfáltico são bem parecidos em definição, entretanto, a principal diferença entre eles resume-se na qualidade. O concreto asfáltico tem maior rigor nas especificações, no controle da dosagem e da execução.

O concreto asfáltico é o revestimento mais nobre, produzido através de usinagem à quente, chamado de Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ). Além do controle rigoroso de qualidade, é o mais durável, e confortável em termos de trafegabilidade, e também o mais caro em termos de execução. A mistura dos agregados com o ligante é realizada à quente em uma usina de asfalto e transportada até o local de sua aplicação por caminhões especialmente equipados onde é lançado por equipamento adequado chamado de vibroacabadora. Após seu lançamento a mistura é compactada por rolos compactadores até atingir a densidade especificada em projeto.

Para pavimentos urbanos, os tipos de revestimentos mais utilizados são o tratamento superficial e o concreto betuminoso usinado à quente.

Em relação à segurança do pavimento, o Manual de conservação rodoviária do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes classifica os tratamentos superficiais como os revestimentos que apresentam as melhores condições para desenvolver uma aderência satisfatória. Quanto aos custos, tem-se que os tratamentos superficiais custam menos que o concreto asfáltico.

As normas existentes para os pavimentos betuminosos preconizam desde os insumos utilizados para produção do pavimento até a execução dos serviços e os ensaios necessários, e estão disponíveis na coletânea de normas do Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transportes.

2.4.2 Dimensionamento

“Dimensionar um pavimento significa determinar as espessuras das camadas que o constituem de forma que estas camadas (reforço do subleito, sub-base, base e revestimento) resistam e transmitam ao subleito as pressões impostas pelo tráfego, sem levar o pavimento à ruptura ou a deformações e a desgastes excessivos.” (GRECO, 2010, p.1)

Os métodos de dimensionamento mais utilizados para pavimento betuminosos são:

- Método Índice de Grupo – é um método empírico (que utiliza apenas fórmulas, sem ensaios de resistência de solos), concebido por Mr. D. J. Steele, engenheiro do Bureau of Public Roads, utilizado apenas como pré-dimensionamento.
- Método HBR - método empírico proposto pelo Highway Research Board, utilizado também para pré-dimensionamento.
- Método USACE – método baseado no ensaio de penetração California Bearing Ratio (CBR) ou também chamado de Índice de Suporte Califórnia (IS), foi aprofundado pelo U. S. Corps of Engineers da U. S. Army.
- Método AASHTO – método empírico baseado em critérios de desempenho obtidos em pistas experimentais, com revisão em 2002, desenvolvido por American Association Standard Highway and Transportation Officials.
- Método DNER – simplificação do método USACE, elaborado pelo Prof. Murilo Lopes de Souza, com revisão em 1981. É o método mais utilizado para dimensionamento no Brasil.
- Método IP 04 – Prefeitura Municipal de São Paulo – desenvolvido para o dimensionamento das vias na cidade de São Paulo, e baseado no ensaio CBR.

i. Método de dimensionamento do DNER

O método do DNER foi elaborado pelo Professor Murilo Lopes de Souza, na década de 1960, e última revisão em 1981.

O dimensionamento por este método consiste primeiramente em dimensionar: o tráfego, calculando o número N de operações de um eixo-padrão de 8,2 toneladas, durante o período de projeto escolhido.

O próximo passo é a determinação da espessura mínima do pavimento em relação à solicitação e da capacidade de suporte do subleito e qualidade dos materiais a serem utilizados.

Em seguida é feito o dimensionamento do pavimento através da determinação dos coeficientes de equivalência estrutural de acordo com a camada e o tipo do pavimento.

ii. Módulo de resiliência

“ O módulo de resiliência (MR) de misturas betuminosas é a relação entre a tensão de tração (σ_t), aplicada repetidamente no plano diametral vertical de uma amostra cilíndrica de mistura betuminosa e a deformação específica recuperável (ϵ_t) corresponde à tensão aplicada, numa dada temperatura (T).” (BRASIL, 1994a, p.2).

Pode-se representar o cálculo do módulo de resiliência pela equação 2.7:

$$MR = \Sigma_t / E_t \quad (2.7)$$

Este conceito é utilizado para a verificação à fadiga de revestimentos asfálticos, tanto em pavimentos novos, como para o cálculo de camadas de reforço em pavimentos.

“Por avaliação estrutural de um pavimento projetado pode-se entender uma verificação do modo pelo qual se procede a distribuição de deformações e tensões em suas diversas camadas, com o intuito de avaliar a compatibilidade entre as diversas características resistentes dos materiais e as solicitações sofridas pelos mesmos.” (SEVERI et al, 1998, p.3).

Estas avaliações podem ser realizadas por programas disponíveis no mercado, destacando-se o Programa Elsym 5, desenvolvido pelo Instituto de Transportes e Engenharia de Tráfego da Universidade da Califórnia ou o Programa Pavimentação Asfáltica 1.0, desenvolvido conjuntamente entre o Laboratório de Mecânica de Pavimentos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo.

2.4.3 Manutenção dos pavimentos flexíveis

Conceitua-se manutenção como um conjunto de operações realizadas com o objetivo de prevenir, reparar ou sanar defeitos.

A manutenção dos pavimentos betuminosos deve ser feita sempre rotineiramente e periodicamente, evitando a necessidade de reforços estruturais ou reconstrução, pois é conhecido que os custos para manutenção crescem exponencialmente com a degradação dos pavimentos e que a manutenção preventiva e corretiva quando feita até a utilização de 75% da vida do pavimento, tem o custo reduzido 10 vezes, se comparado à reconstrução.

Os principais problemas relacionados com a manutenção são:

- degradações e defeitos superficiais: consiste no aparecimento de fissuras (trincas), desagregação (panelas), mancha de água (umidade excessiva) e desgaste;
- deformações e perfil: trilhas de roda, afundamento, ondulação e depressão.

A Norma DNIT 005/2003 trata da classificação dos defeitos nos pavimentos asfálticos.

Os defeitos aparecem devido à associação de fatores, como o tráfego, as condições ambientais e o modo de execução dos revestimentos.

Quanto às degradações e defeitos superficiais, as trincas são os defeitos mais comuns e são responsáveis pelo agravamento das condições do pavimento, visto que elas permitem a passagem de água e assim dão origem à perda da estrutura do pavimento. As trincas mais comuns são:

- Por fadiga: ocorre como resultado de efeitos cumulativos do carregamento sucessivo e tem a forma “couro de jacaré”.
- Por envelhecimento: ocorre quando o ligante betuminoso não suporta mais as deformações provenientes das mudanças de temperatura que ocorrem ao longo do dia. Tem formato irregular e espaçamento maior que 0,5m entre elas.
- Por reflexão: ocorre quando há um trincamento existente na camada inferior e ele se propaga para o revestimento. As trincas podem se apresentar de variadas formas: longitudinal, irregular ou interligadas.
- Por variação de temperatura: ocorre devido a variação térmica, formando trincas longitudinais ou transversais.

As desagregações podem ser definidas como a perda do agregado superficial, e tem como causa a fratura mecânica do filme do ligante ou a perda de adesão entre o ligante e agregado.

Quanto às deformações, a tabela 2.3 mostra o resumo das causas e tipos de deformação permanentes:

Tabela 2.3: Causas e tipos de deformação permanente

Causa Geral	Causa específica	Exemplo de defeito
Associada com o carregamento	Carregamento concentrado ou em excesso	Fluência plástica (ruptura por cisalhamento)
	Carregamento de longa duração ou estático	Deformações ao longo do tempo (creep)
	Grande número de repetições de carga	Afundamento nas trilhas de roda de carga
Não associada com o carregamento	Subleito constituído de solo expansivo	Inchamento ou empolamento
	Solos compressíveis na fundação do pavimento	Recalque diferencial

Fonte: BRASIL, 2006b.

A manutenção dos pavimentos flexíveis geralmente envolve as seguintes atividades:

- Limpeza e remoção de terra e detritos a ser feita rotineiramente;
- Operações tapa-buracos ou execução de remendos, a serem feitos como forma de manutenção corretiva periódica, visando o melhoramento das condições superficiais.

Os remendos são geralmente executados por preenchimento de buracos com misturas betuminosas à quente ou à frio, indicados na correção dos seguintes defeitos: fissuração, desagregação, panelas ou buracos. São chamados remendos superficiais quando selam provisoriamente trincas e pequenos buracos através de capa selante ou massa específica para tapa-buracos. A superfície de aplicação deve ser preparada com limpeza, seguida da aplicação de ligante betuminoso e posterior compactação da massa betuminosa aplicada. São chamados remendos profundos quando os reparos executados tem característica mais permanente e o material da área a ser recuperada é retirado e recomposto de forma a assegurar uma fundação firme do pavimento, visando a restauração da capacidade estrutural do pavimento;

- Recapeamentos ou reforço estrutural: é o conjunto de atividades relativas à restauração do pavimento, permitindo um novo ciclo de vida. Consiste na adequada sobreposição ao pavimento existente de uma ou mais camadas de mistura betuminosa.

- Reconstrução do pavimento: atividade destinada à restauração e/ou reabilitação do pavimento, que consiste na remoção parcial ou total da espessura do pavimento, podendo eventualmente atingir o subleito, e reconstrução destas camadas com capacidade de suporte adequada.

2.5 Pavimento Intertravado

2.5.1 Conceito e generalidades

É um pavimento semi-rígido que apresenta como revestimento peças pré-moldadas de concreto, e que tem como principal característica o intertravamento.

O intertravamento é a capacidade das peças adquirirem, quando já assentadas, resistência a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou de giração em relação às outras peças vizinhas.

A figura 2.2 ilustra os deslocamentos resistidos pelo intertravamento das peças.

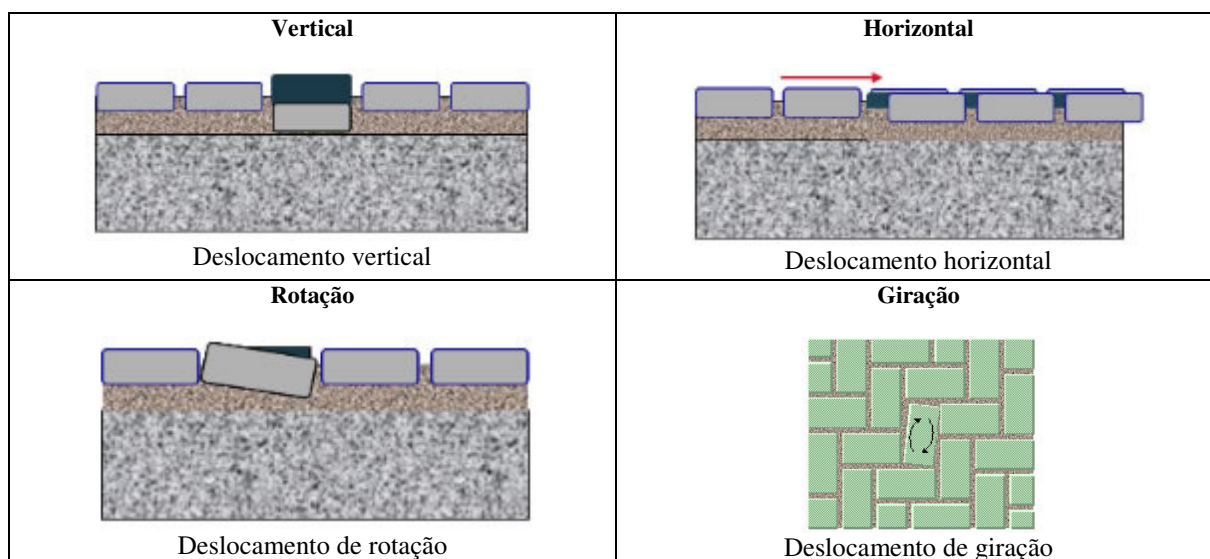


Figura 2.2: Tipos de deslocamentos resistidos por intertravamento
Fonte: ORIGINAL BLOCOS, 2009.

“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.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p. 82).

A figura 2.3 mostra a transmissão de tensões das peças intertravadas para o subleito.

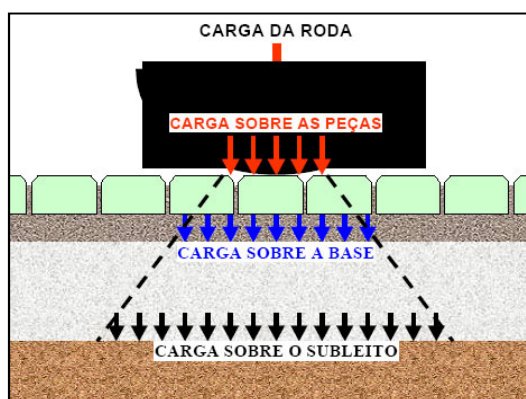


Figura 2.3: Distribuição de tensões no interior de um pavimento intertravado.

Fonte: HALLACK³, 1998 apud, MULLER 2005, p. 49.

São três os tipos de pavimentos intertravados, segundo Senço(2007): os paralelepípedos, a alvenaria poliédrica e os blocos de concreto pré-moldados.

“Pode-se definir paralelepípedo como uma peça de pedra paralela com a forma do sólido que lhe empresta o nome. Revestimento de paralelepípedos é a camada dessas pedras assentadas sobre base de areia, rejuntadas de preferência com material betuminoso – asfalto de alta resistência à penetração.” (SENÇO, 2007, p.615).

A alvenaria poliédrica é um revestimento de pedras irregulares, formando um mosaico.

Os blocos de concreto pré-moldados, por sua vez, são blocos feitos com concreto e moldados de acordo com sua fábrica produtora.

As figuras 2.4, 2.5 e 2.6, mostram exemplos dos três tipos.

³ HALLACK, A. **Dimensionamento de pavimentos com revestimento de peças pré-moldadas de concreto para áreas portuárias e industriais.** Tese de M.Sc, USP – Escola Politécnica, São Paulo-SP, 1998.

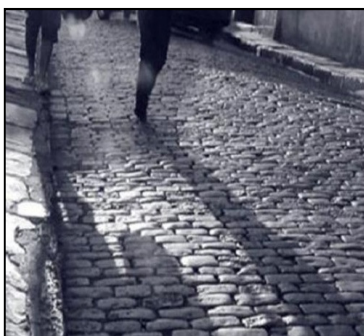


Figura 2.4: Paralelepípedos
Fonte: ENCONTRO NACIONAL DE OBRAS PÚBLICAS, 2007.



Figura 2.5: Alvenaria poliédrica – Via Áppia Roma.
Fonte: BRUNI, 2010.

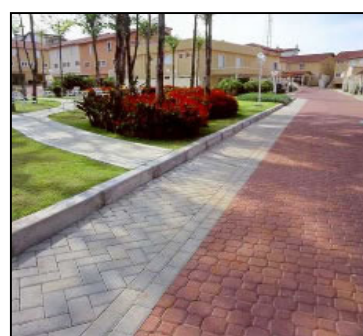


Figura 2.6: Rua interna com blocos de concreto pré-moldados.
Fonte: ORIGINAL BLOCOS, 2009.

O pavimento de blocos de concreto tem sido cada vez mais utilizado, ficando os paralelepípedos e a alvenaria poliédrica como sinônimos de um pavimento mais antigo, quase que não utilizados mais.

Os formatos mais comuns atualmente, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), são:

Tabela 2.4: Formato de blocos de concreto

<ul style="list-style-type: none"> • Peças segmentadas ou retangulares, com relação comprimento/largura igual a 2 (usualmente 200mm de comprimento por 100mm de largura), que se entrelaçam nos quatro lados. Podem ser assentadas em fileiras ou em "espinha-de-peixe". São leves e podem ser carregadas facilmente com apenas uma mão. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Peças com tamanhos e 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, e têm em geral o formato em "I". 	
<ul style="list-style-type: none"> • 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. 	

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p. 84.

Além do formato diferenciado, que confere propriedades estéticas ao pavimento, é possível adicionar pigmentos aos blocos pré-moldados para obter blocos coloridos.

Os pigmentos mais comuns utilizados são o óxido de ferro (responsável pelas cores vermelho, ocre, preto e marrom), de cromo (cor verde) e de cobalto (cor azul).

As normas existentes para os blocos intertravados a serem utilizados em pavimentação são:

- NBR 9781/87 - Peças de concreto para pavimentação – Especificação;
- NBR 9780/87 – Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão;
- DER /SP ET-DE-P00/048 – Pavimentação com blocos de concreto.

As principais recomendações segundo estas normas são em relação à espessura, variação de dimensões e resistência dos blocos:

- a) A variação individual das dimensões dos blocos devem ser no máximo de $\pm 5\text{mm}$;
- b) Apresentar formato geométrico regular, não apresentando dimensões superiores a 45cm nas duas direções ortogonais;
- c) Quanto ao desempenho das faces, são permitidas variações inferiores a 3mm;
- d) A resistência à compressão deve ser maior ou igual a 35MPa para solicitações de veículos comerciais de linha e maior ou igual a 50MPa, para tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão;
- e) As espessuras dos blocos são padronizadas em 6cm, 8cm e 10cm.

Além das dimensões e resistência, o arranjo e a espessura também desempenham um papel importante para o pavimento, visto que influenciam a distribuição de esforços das peças intertravadas, e este é um dos fatores primordiais para seu bom desempenho.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2002) recomenda o uso do arranjo "espinha-de-peixe" em condições de tráfego intenso, devido à sua boa resposta frente ao fenômeno de "escorregamento" analisado em relação ao travamento horizontal. Para calçadas, a recomendação é o arranjo tipo fileira/corredor ou trama.

A figura 2.7 ilustra os tipos de arranjos.

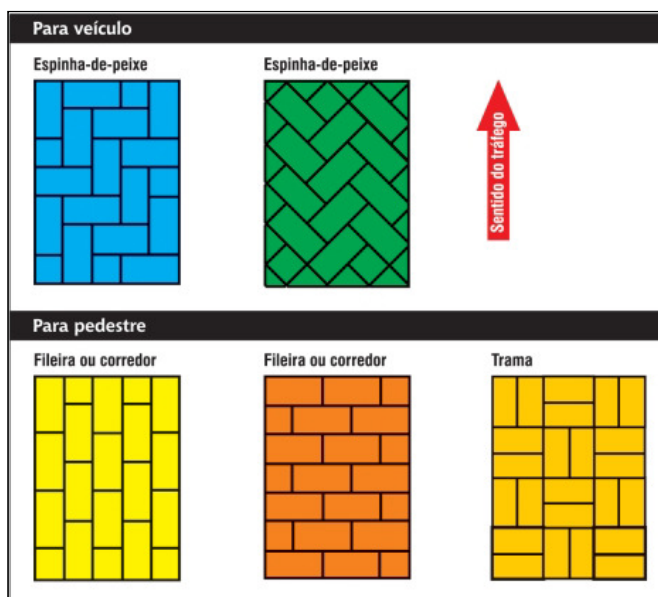


Figura 2.7: Tipos de arranjos recomendados com peças intertravadas de acordo com a intensidade do tráfego

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p. 83.

Quanto à influência do formato das peças ainda não há consenso entre os pesquisadores, mas recomenda-se um formato de fácil assentamento e de boa capacidade de distribuição de tensões.

2.5.2 Dimensionamento

Os métodos de dimensionamento mais utilizados para pavimentos de peças de concreto intertravadas são:

- Método IP 06 – Prefeitura Municipal de São Paulo, que tem grande utilização em dimensionamento de vias urbanas;
- Proposta de Cook (1996), método simplificado em fluxogramas para tráfego leve em vias urbanas;
- Método LOCKPAVE - desenvolvido por Shackel, utiliza um programa que dimensiona a partir da escolha de um sistema combinado de espessuras e propriedades dos materiais utilizados nas camadas e é utilizado para rodovias e situações industriais;
- Proposta de Hallack (1990), que consiste no dimensionamento para aplicações em áreas de terminais de carga e pátios industriais utilizando o programa ELSYM 5 (Elastic Layered System);

- Método ICPI – Interlock Concrete Pavement Institute (EUA), adequado para todos os tipos de pavimentos de portos, depósitos similares e rodovias de tráfego pesado.

i. IP 06 – Prefeitura Municipal de São Paulo – Instrução para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto

Neste método é considerada uma carga máxima de 10,0 toneladas por eixo simples de rodagem dupla e os parâmetros para classificação das vias são obtidos da Instrução de Projeto 02 (IP 02) da Prefeitura Municipal de São Paulo (SÃO PAULO, 2002a), que dispõe sobre a classificação de vias, e que encontra-se resumido na tabela 2.5.

Tabela 2.5: Classificação de vias

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto (Anos)	Volume inicial na faixa mais carregada		Equivalente por veículo	N característico
			Veículo leve	Caminhão e ônibus		
Via local residencial com passagem	Leve	10	100 a 400	4 a 20	1,5	10^5
Via coletora secundária	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,5	5×10^5
Via coletora principal	Meio pesado	10	1501 a 5000	101 a 300	2,3	2×10^6
Via arterial	Pesado	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,9	2×10^7
Via arterial principal ou expressa	Muito pesado	12	> 10000	1001 a 2000	5,9	5×10^7
Faixa exclusiva de ônibus	Volume médio	12	–	< 500		10^7
	Volume elevado	12	–	> 500		5×10^7

Fonte: SÃO PAULO, 2002a, p. 4

A espessura do pavimento a ser construído sobre o subleito será calculada em função do Índice de Suporte Califórnia representativo de suas camadas.

A espessura mínima do revestimento de blocos de cimento intertravados para este método é 8,0cm, e de acordo com o projetista pode passar a 10,0cm em condições mais severas.

2.5.3 Manutenção

A manutenção dos pavimentos intertravados é bastante simples, não envolve mão-de-obra especializada, e se for feita sempre rotineiramente e periodicamente, evitando a necessidade de reforços estruturais ou reconstrução, não há necessidade de uso de equipamentos mais específicos, ficando a manutenção apenas a cargo de ferramentas simples e compactador manual.

Os principais problemas relacionados com a manutenção são:

- Degradações e defeitos superficiais: consiste no aparecimento de fissuras (trincas), quebra de blocos e desgaste da superfície dos blocos;
- Deformações e perfil: trilhas de roda, afundamento, ondulação e depressão.

A Norma DNIT 005/2003 Terminologia trata da classificação dos defeitos nos pavimentos semi-rígidos e flexíveis e pode ser aplicada aos blocos intertravados.

Quanto as degradações e defeitos superficiais, tem-se que:

As trincas que normalmente ocorrem estão associadas à capacidade portante do próprio bloco, que não resiste à passagem de veículos de carga maior que a especificada em seu dimensionamento. As trincas relativas à capacidade de resistência das camadas inferiores geralmente não provocam o trincamento dos blocos.

A quebra dos blocos também está associada à resistência do bloco em relação ao tráfego.

O desgaste, que é caracterizado pela aspereza superficial do revestimento, é provocado pelos esforços tangenciais do tráfego e ocorre ao longo dos anos.

As deformações e defeitos associados ao perfil do pavimento consistem comumente em acentuado deslocamento vertical, com formação de trilhas de roda ou afundamentos e estão associadas a uma capacidade estrutural insuficiente das camadas do pavimento. Se, porém, estes afundamentos forem localizados, podem ser provenientes de danos em redes de tubulação, que causam o umedecimento das camadas e perda da compactação do pavimento.

Danos freqüentes ocorrem também quando um pavimento já executado recebe melhorias, como uma rede de água ou esgoto sanitário, por exemplo, e ao terminar a tubulação, faz-se uma recomposição mal feita do pavimento, sem a execução de uma base compatível à necessidade estrutural do pavimento. Neste caso também nota-se afundamentos localizados na extensão da rede de tubulação executada.

Os procedimentos gerais recomendados, de acordo com a literatura especializada, para manutenção deste tipo de pavimento, consistem em:

- Limpeza de vegetação: é uma atividade que deve ser repetida de forma sistemática e que consiste na retirada da vegetação que cresce nas juntas. Pode ser executado de forma manual com ferramentas pontiagudas ou uso de herbicida por meio de aspersão, e em casos persistentes, pode-se misturar herbicida à areia de rejuntamento.
- Complementação da areia de rejuntamento: quando da execução do pavimento, deve-se haver uma manutenção de forma a evitar a lavagem da areia de rejuntamento. A recomposição desta areia deve ser feita periodicamente de forma a propiciar a capacidade de intertravamento dos blocos.
- Recomposição do pavimento: Atividade bastante simples que consiste na recomposição de peças trincadas ou deslocadas, e reparos localizados nas camadas inferiores ao revestimento quando há existência de deformações pequenas.
- Restauração do pavimento: Quando houver um desgaste significativo do revestimento, ele pode ser restaurado apenas com a troca da face de uso do bloco, procedimento bastante comum em cidades pequenas. Para o caso de deformações ou trincamento relevantes, o pavimento deve ser recomposto em todas as suas camadas, e se necessário, a revisão do dimensionamento do pavimento. A restauração do pavimento deve ocorrer também em casos de afundamento de grande extensão provenientes de rede de tubulação executada posteriormente a execução do pavimento.

As figuras 2.8, 2.9 e 2.10, mostram alguns pavimentos intertravados com necessidade de manutenção:



Figura 2.8, 2.9 e 2.10: Vegetação nas juntas, Desnivelamento da superfície e Deformações

Fonte: REVISTA COMUNIDADE DA CONTRUÇÃO, 2008

3 FATORES DE CARACTERIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS URBANOS FLEXÍVEIS E INTERTRAVADOS

Os fatores de caracterização que podem ser associados aos pavimentos urbanos flexíveis e intertravados, que foram considerados nesta pesquisa, para efeito de uma análise comparativa, são: economia, trafegabilidade e aspectos ambientais. Foram consideradas somente as camadas de rolamento dos pavimentos flexível e intertravado nesta análise.

3.1 Economia

Considerando que a necessidade de pavimentação de ruas é muito maior que os recursos financeiros disponíveis e que a pavimentação também responde pelo maior custo em relação a todos os outros serviços de infra-estrutura, estudar os aspectos econômicos de cada tipo de pavimento se faz importante, pois é um indicador indispensável para a tomada de decisões.

[...] o custo do sistema viário – composto da rede de pavimentação e de drenagem de águas pluviais – comporta entre 55 a 60 % do custo total das redes. Se desejamos, portanto, economizar na implementação das redes de serviços urbanos, teremos que procurar fazê-lo, fundamentalmente, na rede viária porque se somarmos as outras 5 redes (água, esgoto, gás, eletricidade e iluminação pública) seus custos serão inferiores ao custo desta. (MASCARÓ, 1979, p. 225).

Neste aspecto, são considerados os seguintes indicadores de custos:

I. Custos para o órgão municipal:

- Construção: são aqueles custos referentes ao projeto, execução e fiscalização do pavimento.
- Conservação rotineira: custos destinados a reparos localizados (limpeza, remoção de detritos, terra ou vegetação).
- Conservação periódica: custos referentes à manutenção de condições superficiais com vistas à preservação da qualidade estrutural e funcional do rolamento;
- Reabilitação: reparos seletivos, reforços estruturais ou aplicações de camadas de regularização com a finalidade de restaurar a capacidade estrutural do pavimento ou qualidade do rolamento.

II. Custos para os usuários:

- Custos operacionais: são os custos referentes à operação de veículos (consumo de combustível, desgaste de pneus, manutenção do veículo, consumo de lubrificantes, depreciação e reposição de peças), ao tempo de viagem e aos acidentes ocorridos.

Alguns órgãos, como o Departamento de Estradas de Rodagem, elaboram uma tabela anual com estes custos.

Para o Custo Operacional de Veículo (COV), além de tabelas prontas, Mesquita (2001) propõe a utilização de equações, elaboradas a partir do estudo desenvolvido pelo Grupo de Estudos para a Integração de Política de Transportes (GEIPOT) entre 1976 a 1982 através do United Nations Development Programme (UNDP/76), e financiado pelo Banco Mundial.

Este estudo estabelece o custo operacional relacionado ao Índice Internacional de Rugosidade (IRI) do pavimento, considerando os fatores: custo do combustível, do lubrificante, dos pneus, de manutenção (peças e mão de obra), de depreciação, custo financeiro (juros), custo da equipe (motorista, ajudante), e da velocidade do veículo (Km/h), no ano de 1981.

O Índice de Rugosidade Internacional (IRI – International Roughness Index) foi concebido na década de 80 pelo Banco Mundial e tinha por finalidade determinar e aferir a qualidade (níveis de conforto e de segurança) dos pavimentos por ele financiados.

O IRI é um sistema de controle de planicidade em pavimentos, através de medições dos desvios da superfície da rodovia, em relação a um plano ideal de referência.

Seu cálculo é feito pelo somatório por quilômetro das irregularidades do pavimento em relação a um plano de referência. Este levantamento é realizado com um veículo equipado com aparelhagem adequada, tipo integrador Laser.

A figura 3.1 ilustra com dois exemplos o gráfico resultante deste tipo de medição.

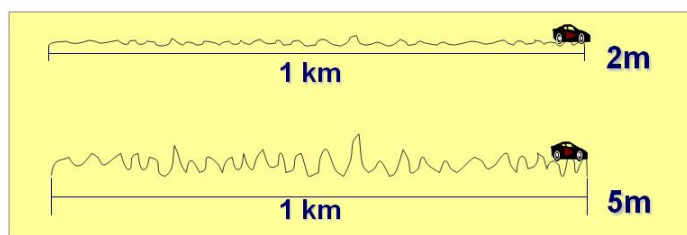


Figura 3.1: Exemplo de medição de IRI
Fonte: BRASIL, 2010.

A tabela 3.1 mostra as faixas dos valores de IRI adotadas pelo Banco Mundial, em relação à condição do pavimento:

Tabela 3.1: Relação entre a condição do pavimento e o valor de IRI

<i>Faixa</i>	<i>Condição</i>
$6,6 < \text{IRI}$	Muito Ruim
$4,4 < \text{IRI} < 6,6$	Ruim
$2,8 < \text{IRI} < 4,4$	Regular
$1,6 < \text{IRI} < 2,8$	Bom
$\text{IRI} < 1,6$	Muito Bom

Fonte: PATERSON, 1987.

O estudo do Banco Mundial adotou os valores de IRI 2,8; 7,4 e 12,0, abrangendo três diversas situações de rodovias.

A tabela 3.2 mostra os resultados deste estudo.

Tabela 3.2: Previsão de custos operacionais

Previsão de Custo Operacional de veículos: Brasil								Custo Total	
Veículos	IRI m/Km	V Km/h	Custo em Cruzeiros por 10 ³ Km, Incluindo taxas, 1976					(por 10 ³ Km) Conversão Cambial	
			F	O	T	P+L+ D+I	C	Cr\$	U\$
Carros	2,8	62,7	43	4	7	309	64	427	46,77
	7,4	59,3	42	4	32	432	67	577	63,20
	12,0	55,8	41	4	56	612	72	785	85,98
Ônibus	2,8	72,1	413	37	280	846	312	1888	206,79
	7,4	54,7	400	40	302	1081	411	2234	244,69
	12,0	43,6	422	43	349	1396	516	2726	298,58
Caminhões	2,8	64,4	531	40	280	577	466	1894	207,45
	7,4	48,7	537	47	302	1087	616	2589	283,57
	12,0	37,0	588	56	349	1510	811	3314	362,98
Articulados	2,8	62,3	968	40	517	1844	578	3947	432,31
	7,4	39,6	1075	47	566	2640	909	5237	573,60

Fonte: WATANATADA; DHARESHWAR; LIMA⁴, 1987 apud MESQUITA, 2001

Abreviações usadas na tabela 3.2:

V – Velocidade do veículo (Km/h)

F – Custo do combustível (unidade monetária /10³ Km)

O – Custo do lubrificante (unidade monetária /10³ Km)

T – Custo do Pneu (unidade monetária /10³ Km)

P – Custo de manutenção (peças) (unidade monetária /10³ Km)

L – Custo de Manutenção (mão de obra) (unidade monetária /10³ Km)

D – Custo de depreciação (unidade monetária /10³ Km)

I – Custo Financeiro (Juros) (unidade monetária /10³ Km)

C – Custo da Equipe (motorista, ajudante etc) (unidade monetária /10³ Km)

⁴ WATANATADA, T.; DHARESHWAR A.M.; LIMA P.R.S.R. **Vehicle speeds and operating costs: models for planning and management.** Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press; World Bank, 1987.

Mesquita (2001) propôs a atualização cambial e inflacionária dos valores obtidos pelo estudo através das equações 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4, representadas na tabela 3.3:

Tabela 3.3: Equações propostas para atualização cambial e inflacionária do Custo Operacional dos Veículos

Carros:	$COV = (IAC) * (IAI) * (3,56 * (IRI) + 36,85) * 10^{-3}$ em R\$/km; (3.1)
Ônibus	$COV = (IAC) * (IAI) * (8,24 * (IRI) + 183,72) * 10^{-3}$ em R\$/km; (3.2)
Caminhões	$COV = (IAC) * (IAI) * (16,56 * (IRI) + 161,05) * 10^{-3}$ em R\$/km; (3.3)
Caminhões Articulados	$COV = (IAC) * (IAI) * (30,72 * (IRI) + 346,27) * 10^{-3}$ em R\$/km; (3.4)

Onde:

COV = custo operacional do veículo

Para chegar a estas equações, Mesquita (2001) considerou as informações obtidas a partir do estudo do Banco Mundial (tabela 3.2), e considerou as relações entre COV e IRI lineares, possibilitando obter equações do tipo $y = ax + b$, sendo x o valor de IRI e y o valor de custo total por veículo em dólar (US\$). Ao relacionar várias equações, achou-se o valor das variáveis a e b, que foram aplicadas como coeficientes das equações propostas.

Adotou-se também que:

IAC = índice de atualização cambial, obtido através da relação cambial vigente entre o Dólar americano (US\$) e a moeda corrente local, o Real (R\$).

IAI = índice de atualização inflacionária, que corresponde à relação entre o custo operacional vigente (na moeda corrente local) para um veículo de referência, para o qual se identifica de maneira simples o seu custo operacional, e custo operacional do veículo equivalente obtido em dólar, pelo estudo UNDP/76, para as mesmas condições do pavimento, convertido para a moeda corrente local, pelo IAC, representado pela equação 3.5:

$$IAI = (COV_{(R\$/Km)}) / (COV_{(US\$/Km)} * IAC) \quad (3.5)$$

IRI = índice internacional de rugosidade (International Roughness Index), obtido de acordo com a condição do pavimento.

Estas equações representam, segundo Mesquita (2001), com precisão razoável, a lei de variação dos (COV) *custos operacionais dos veículos*, em função da Irregularidade Longitudinal, aqui representada pelo (IRI) *International Roughness Index*, para a realidade brasileira.

3.2 Aspectos de trafegabilidade

O desempenho satisfatório de um pavimento no quesito trafegabilidade se traduz na apresentação de condições seguras e confortáveis de tráfego para o usuário.

Segundo a literatura especializada, define-se por condições seguras um pavimento que propicie uma resistência a derrapagem adequada, e por condições confortáveis um pavimento sem vibrações, que apresente suavidade de rolagem e nível de ruído aceitável.

Conforme a Instrução de projeto da Diretoria de Engenharia IP DE P00/003 do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (SÃO PAULO, 2006a), os aspectos de trafegabilidade podem ser medidos através da avaliação funcional dos pavimentos, que é definida como a análise da qualidade do pavimento em termos de desempenho das condições de rolamento.

As formas recomendadas pelo mesmo documento para avaliação funcional são:

i. Avaliação de defeitos da superfície por levantamento visual contínuo

O levantamento visual contínuo (LVC) tem como objetivo analisar a condição da superfície do pavimento através de exame visual e contínuo dos defeitos observados por dois técnicos avaliadores no interior de um veículo, sendo um deles o condutor. São avaliadas todas as faixas de tráfego do trecho rodoviário em análise, empregando-se segmentos de extensão de 1 km, onde são identificadas as ocorrências, a frequência e a severidade de cada tipo de defeito.

Durante a avaliação contínua da superfície do pavimento é atribuída uma nota subjetiva que reflita a condição de conforto ao rolamento.

Os resultados indicam o Índice de Conforto do Pavimento Flexível (ICPF) calculado a partir da média dos índices de cada trecho.

O levantamento visual contínuo também permite a determinação de três parâmetros:

- Índice de Defeitos de Superfície – IDS: representa o grau de deterioração da superfície do pavimento a partir do somatório da ponderação das frequências e dos pesos relativos às severidades das ocorrências dos distintos tipos de defeitos verificados;
- Valor de Serventia Atual – VSA: representa as condições de conforto e segurança ao rolamento percebidas pelos usuários da rodovia;
- Índice de Condição Funcional – ICF: caracteriza a condição funcional do pavimento, envolvendo aspectos relacionados aos defeitos de superfície e à serventia, a partir de critério decisório envolvendo os dois índices anteriores.

O LVC deve ser realizado conforme descrito na norma DNIT 008/2003 PRO.

ii. Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos

A avaliação objetiva dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos consiste no levantamento e classificação de ocorrências aparentes na superfície do pavimento e na medida das deformações permanentes nas trilhas de roda.

A avaliação objetiva da superfície de pavimentos permite determinar os seguintes parâmetros:

- *fa*: frequência absoluta, que corresponde ao número de vezes em que os defeitos são verificados;
- *fr*: frequência relativa, que é a relação entre a frequência absoluta, *fa*, e o número *n* de estações inventariadas, multiplicada por 100;
- IGI: índice de gravidade individual, que é o resultado da multiplicação da frequência relativa, *fr*, pelo fator de ponderação, *fp*, adotado para cada tipo de ocorrência;
- IGG: índice de gravidade global, que é o somatório dos índices de gravidade individuais para cada segmento definido como homogêneo.

A avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos deve ser realizada de acordo com a norma DNIT 006/2003 – PRO.

iii. Avaliação através do conceito de irregularidade longitudinal

A avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos consiste no levantamento dos desvios existentes na superfície do pavimento. A determinação da irregularidade longitudinal pode ser realizada pela leitura com medidores tipo resposta, como o *Bump*

Integrator, o IPR/USP ou o *Maysmeter*, o perfilômetro a laser, ou o levantamento topográfico com teodolito (nível e mira).

Os medidores de irregularidade tipo resposta são usados na determinação do IRI, *International Roughness Index*, e do QI, Coeficiente de Irregularidade, para as velocidades de calibração do veículo de 50km/h e 80km/h. As leituras devem ser feitas a cada 200m ao longo de todas as faixas de tráfego a serem verificadas.

A realização do levantamento da irregularidade longitudinal de pavimentos com o uso de aparelhos tipo resposta deve seguir as recomendações do procedimento preconizado na norma DNER-PRO 182/94.

Além dos métodos recomendado pelo Departamento de Estradas de Rodagem através da Instrução de projeto IP DE P00/003 SP, o pavimento pode ser avaliado de acordo com sua textura:

iv. Avaliação através do conceito textura do pavimento

A textura superficial dos pavimentos também é relacionada ao conforto e a segurança dos usuários por definir características importantes do pavimento, como: efeito de espelho noturno e eficiência da iluminação, aderência pneu/pavimento, hidroplanagem, ruído, spray, etc.

Segundo Callai e Spetch (2006) os tipos de textura são: microtextura, macrotextura e megatextura.

A classificação das texturas do pavimento pode ser feita em função do comprimento de onda, que é a distância entre dois picos ou duas depressões relativos à rugosidade do pavimento.

É definido como microtextura quando são analisadas as distâncias entre picos e depressões até o comprimento 0,5mm. Este aspecto é ligado ao tipo de agregado mineral.

A macrotextura analisa as distâncias de comprimento entre 0,5 a 50mm no pavimento e relaciona-se com a textura agregado-massa asfáltica.

A megatextura e a irregularidade tem comprimento de onda entre 50mm e 50m, e apresenta relação com os defeitos do pavimento.

A The Road World Association estabelece a classificação da textura do pavimento em função da faixa de comprimento de onda, (BERNUCCI et al, 2008), conforme mostra tabela 3.4.

Tabela 3.4. Classificação da textura de um pavimento.

Classificação da textura	Faixa de comprimento de onda
Microtextura	$\lambda < 0,5 \text{ mm}$
Macrotextura	$0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ mm}$
Megatextura	$50 \text{ mm} \leq \lambda < 500 \text{ mm}$
Irregularidade	$0,5 \text{ m} \leq \lambda < 50 \text{ m}$

Fonte: BERNUCCI et al., 2008, p. 430.

Os aspectos relacionados a cada tipo de textura são:

a) Microtextura: é relacionada à própria superfície do agregado mineral, que pode ser áspera ou polida, dependendo das propriedades mineralógicas dos agregados e é de fundamental importância para romper o filme de água quando do contato pneu/pavimento. A maneira mais comum de se medir microtextura é através do ensaio de pêndulo britânico, que segue a norma ASTM D303-1993.

A realização deste ensaio consiste em lançar um pêndulo com base de borracha em direção a um pavimento molhado, com o objetivo de medir-se a perda de energia por atrito da base de borracha do pêndulo quando esta desliza sobre a superfície do pavimento. (ASTM⁵, 1998 apud APS, 2006).

A Figura 3.2 ilustra a constituição de um pêndulo.



Figura 3.2: Pêndulo britânico
Fonte: APS, 2006, p. 40.

b) Macrotextura: corresponde às asperezas superficiais do pavimento formadas pelo conjunto agregados e massa asfáltica. Os aspectos relacionados à macrotextura são: capacidade de atrito em altas velocidades; drenabilidade da água superficial (efeito de hidroplanagem,

⁵ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM303-93**: Standard method for measuring frictional properties using the british pendulum tester. West Conshohocken: ASTM Standards, 1998, v.04.03, 5p.

efeito-spray e efeito de espelho noturno) e gastos operacionais de veículos (consumo de combustível, desgaste de pneus e nível de ruído).

Os ensaios realizados para determinação da macrotextura são: através do ensaio de mancha (ou altura) de areia, ensaio de drenabilidade superficial do pavimento (outflow), medidas contínuas com laser (equipamento RUGO), e vários outros métodos baseados no processo de interpretação de imagens digitais.

Ensaio da mancha de areia:

O ensaio da mancha de areia é empregado para caracterizar a superfície do pavimento quanto à macrotextura, e mede o diâmetro obtido pelo espalhamento de areia de dimensões e volume específico, calculando-se a altura de areia obtida. Segue duas normas que respeitam os mesmos limites de classificação: Norma Francesa (Mode Opérateires Du Laboratoire Central des Ponts ET Chaussées Mesure de La Profounder au Sable – Mode Opérateur RG – 2 / Paris 1971) e Norma Americana (ASTM E965-96, de 1996, revisada em 2001 e 2006).

Segundo a Norma Americana (ASTM E965-96, de 2006), o procedimento para este ensaio consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido de 25000mm^3 de areia uniforme, seca, de grãos arredondados, que passa na peneira de abertura 0,3mm e fica retida na malha 0,15mm. O ensaio pode ser realizado também com utilização de microesferas de vidro ao invés da areia.

Inicialmente a superfície deve ser limpa com uma escova pequena, de mão, em seguida a areia deve ser espalhada na superfície seca por instrumento adequado, que contenha um disco liso na extremidade, através de movimentos circulares e uniformes. Mede-se então o diâmetro da mancha de areia circular nas quatro direções, e o resultado será a média destes valores. Avalia-se então a adequabilidade da textura em função da segurança, dos gastos operacionais dos veículos e da hierarquia da via analisada.

Ensaio de drenabilidade:

O ensaio de drenabilidade, por sua vez, consiste em utilizar um aparelho denominado drenômetro, para medir o tempo necessário que um volume determinado de água é escoado por duas marcas feitas nos terços do drenômetro. O tempo de passagem pelas marcas representa a velocidade de escoamento da água pelos canais existentes na superfície do pavimento, que a borracha existente no drenômetro não vedar.

“O ensaio de drenabilidade avalia a capacidade da macrotextura de drenar a água através dos canais da superfície de um pavimento” (APS, 2006, p. 36).

A figura 3.3 representa a constituição de um drenômetro.



Figura 3.3: Drenômetro do Laboratório de Tecnologia de Pavimento da USP – SP.
Fonte: APS, 2006, p. 36.

O drenômetro é composto de um cilindro transparente com volume conhecido, acoplado a uma placa na sua extremidade inferior com orifício circular. São ainda necessários uma rolha com o mesmo tamanho do orifício circular, para o fechamento deste antes da realização do ensaio e um peso ao redor do cilindro.

Este ensaio é baseado no estudo desenvolvido pelo Institute of Highways, Railroads and Rock Engineering (ISETH) de Zurique, Suíça e que foi adaptado pelo Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Universidade de São Paulo.

c) Megatextura: são as irregularidades superficiais do pavimento. São capazes de produzir vibrações e são considerados defeitos no pavimento. Afetam o atrito pneu/pavimento e, portanto, também o conforto e o custo operacional dos veículos. Uma maneira de se mensurar o atrito pneu/pavimento, utilizada na Europa, Estados Unidos e Brasil, é o Grip Test.

O Grip Test é um ensaio reconhecido internacionalmente e aprovado pela “*International Civil Aviation Organization - ICAO*” (Organização de Aviação Civil Internacional - OACI) e pela “*Permanent International Association of Road Congresses - PIARC*” (Associação Internacional Permanente de Congressos Rodoviários – AIPCR) e obedece o princípio da roda freada e arrasto fixo, com forças verticais e horizontais sendo continuamente medidas e totalizadas a cada 10 metros. (AMARANTE et al, 2005).

O equipamento utilizado, chamado Grip Tester, pode ser manual ou rebocado e possui 3 rodas deslizantes, sendo a roda central responsável pela medida de atrito.

A Figura 3.4 ilustra a versão rebocável do Grip Tester.



Figura 3.4: Grip Tester rebocável
Fonte: APS, 2006, p. 50.

Um exemplo de utilização deste equipamento no Brasil é a medição do atrito pelo Grip Tester antes e depois da fresagem na Rodovia Presidente Dutra no trecho da Serra das Araras, com intuito de verificar a segurança ao tráfego. (AMARANTE et al, 2005).

A Figura 3.5 ilustra as diferenças entre microtextura e macrotextura.

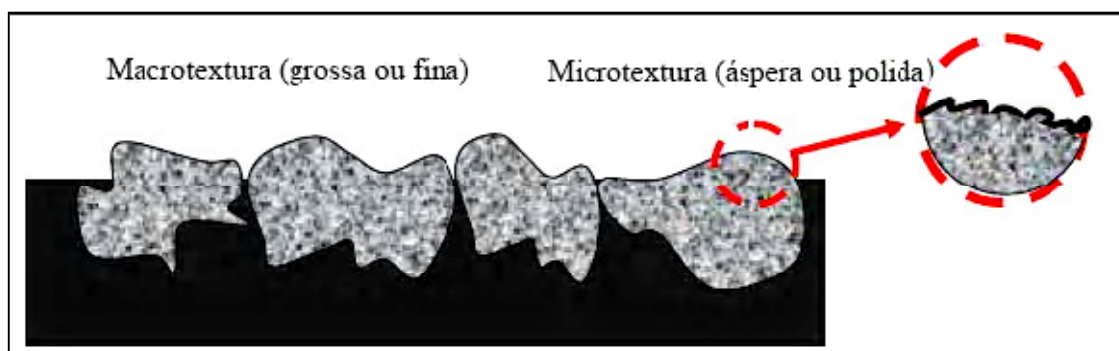


Figura 3.5: Diferenças entre macrotextura e microtextura
Fonte: MERIGHI et al.⁶, 2006 apud GAGGINI; FORTES, 2008, p. 4

⁶ MERIGHI, J. V.; FORTES, R. M.; BANDEIRA, A. Estudo de propriedades do concreto poroso aplicado a pavimentação. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 48, **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, 2006.

3.3 Aspectos ambientais

Há uma grande variedade de questões importantes, relativas à sustentabilidade ambiental, da produção, execução e manutenção dos pavimentos na literatura especializada. Os pontos negativos considerados de maior relevância são:

- Danos ambientais provenientes da produção do revestimento do pavimento;
- Danos ambientais provenientes da aplicação do revestimento do pavimento no solo (taxa de impermeabilização do solo devido à aplicação do pavimento e aquecimento local devido à absorção de calor pelo pavimento);
- Danos ambientais provenientes da produção do principal material componente de cada revestimento (cimento para o pavimento intertravado e cimento asfáltico de petróleo para os pavimentos betuminosos), entretanto, para este estudo, este aspecto não foi considerado, por ser considerado um item demasiadamente amplo.

Existem também pontos positivos que podem ser abordados visando a sustentabilidade ambiental, como por exemplo, a possibilidade de incorporação de resíduos na produção ou aplicação do revestimento de alguns materiais de difícil reaproveitamento, citando os pneus.

3.3.1 Danos ambientais referentes à produção do revestimento

Os danos ambientais referentes à produção do revestimento podem ser avaliados pela classificação deste tipo de atividade nas principais legislações ambientais federais e estaduais.

Estas legislações estabelecem o potencial poluidor segundo a atividade exercida e o porte do empreendimento.

No âmbito federal, tem-se a classificação pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, através da lei 10.165.

No âmbito estadual, destaca-se o Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema) que é formado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), pelos conselhos estaduais de Política Ambiental (COPAM) e de Recursos Hídricos (CERH) e pelos órgãos vinculados: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), responsável pela qualidade ambiental no Estado, Instituto Estadual de Florestas (IEF) e Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

A normatização que classifica as atividades poluidoras segundo o Sisema, pode ser representada pela Resolução deliberativa do Conselho Estadual de Política Ambiental

(COPAM) n°74/2004 e segundo o governo do Estado de Minas Gerais, pelo decreto estadual 44.045.

i. Lei 10.165

A Lei 10.165 é definida como a lei de instituição da Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental - TCFA, cujo fato gerador é o exercício regular do poder de polícia conferido ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama para controle e fiscalização das atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos naturais.

Por esta Lei, as atividades de usina de concreto asfáltico e concreto comum, correspondem ao código 14, que significa potencial poluidor pequeno.

Entretanto, além de estabelecer o potencial poluidor, esta lei estabelece o porte do empresa, considerando a receita bruta anual da pessoa jurídica, assim, considera-se:

I - microempresa, a pessoa jurídica e a firma mercantil individual que tiver receita bruta anual igual ou inferior a R\$244.000,00 (duzentos e quarenta e quatro mil reais);

II - empresa de pequeno porte, a pessoa jurídica e a firma mercantil individual que tiver receita bruta anual superior a R\$244.000,00 (duzentos e quarenta e quatro mil reais) e igual ou inferior a R\$1.200.000,00 (um milhão e duzentos mil reais);

III - empresa de médio porte, a pessoa jurídica que tiver receita bruta anual superior a R\$1.200.000,00 (um milhão e duzentos mil reais) e igual ou inferior a R\$12.000.000,00 (doze milhões de reais);

IV - empresa de grande porte, a pessoa jurídica que tiver receita bruta anual superior a R\$12.000.000,00 (doze milhões de reais).

Com estas informações, é apresentada a tabela 3.5, que corresponde a taxa trimestral que deve ser paga ao IBAMA à título de controle e fiscalização ambiental requerido pela atividade exercida.

Tabela 3.5: Taxa trimestral TCFA

Potencial de Poluição, Grau de utilização de Recursos Naturais	Pessoa Física (R\$)	Microempresa (R\$)	Empresa de Pequeno Porte (R\$)	Empresa de Médio Porte (R\$)	Empresa de Grande Porte (R\$)
Pequeno	-	-	112,50	225,00	450,00
Médio	-	-	180,00	360,00	900,00
Grande		500,00	225,00	450,00	2.250,00

Fonte: BRASIL (2000)

ii. Resolução deliberativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) n°74/2004

Esta resolução estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, e determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental.

Tem-se segundo esta resolução que os empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente sujeitas ao licenciamento ambiental no nível estadual são aqueles enquadrados nas classes 3, 4, 5 e 6. O enquadramento nas classes 1 e 2 é feito quando considera-se um impacto ambiental não significativo, e portanto as empresas ficam dispensadas do processo de licenciamento ambiental no nível estadual, mas sujeitos obrigatoriamente à autorização de funcionamento pelo órgão ambiental estadual competente.

O enquadramento nas classes é feito considerando-se o porte da empresa e o potencial poluidor do empreendimento, sendo que:

I – Pequeno porte e pequeno ou médio potencial poluidor: Classe 1;

II – Médio porte e pequeno potencial poluidor: Classe 2;

III – Pequeno porte e grande potencial poluidor ou médio porte e médio potencial poluidor: Classe 3;

IV – Grande porte e pequeno potencial poluidor: Classe 4;

V – Grande porte e médio potencial poluidor ou médio porte e grande potencial poluidor: Classe 5;

VI – Grande porte e grande potencial poluidor: Classe 6.

Para o caso de usinas de produção de concreto comum e asfáltico, tem-se, segundo a resolução, que o potencial poluidor geral para esta atividade é considerado médio.

A classificação do porte para as usinas de concreto asfáltico é feita considerando para uma capacidade instalada de produção de concreto asfáltico menor que 40 toneladas/hora um porte pequeno, entre 40 e 60 toneladas/hora um porte médio e acima de 60 toneladas/hora um porte grande.

As empresas de concreto comum tem seu porte classificado segundo as seguintes capacidades produtoras: produção menor que $< 9 \text{ m}^3/\text{hora}$, porte pequeno; produção entre 9 e $85 \text{ m}^3/\text{hora}$, porte médio e produção $> 85 \text{ m}^3/\text{hora}$, porte grande.

iii. Decreto estadual 44.045

O decreto estadual 44.045 regulamenta a Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental do Estado de Minas Gerais (TFAMG), instituída pela Lei nº 14.940, de 29 de dezembro de 2003.

Ele estabelece de acordo com a atividade, qual o potencial poluidor, e de acordo com a renda anual bruta, o porte do empreendimento, para a cobrança da taxa.

O potencial poluidor para cada atividade obedece a uma tabela no próprio Decreto 44.045.

Para as usinas de produção de concreto e asfalto, é estabelecido como potencial poluidor pequeno, que corresponde ao código 12.

O porte do empreendimento segue as mesmas classificações citadas na Lei 10.165, que vai variar conforme a renda bruta da empresa.

O cruzamento das informações é colocado na tabela 3.6, que estabelece os valores a serem pagos em âmbito estadual, por trimestre:

Tabela 3.6: Taxa TFAMG

Potencial de Poluição Grau de Utilização de Recursos Ambientais	Pessoa Física (R\$)	Microempresa (R\$)	Empresa de Pequeno Porte (R\$)	Empresa de Médio Porte (R\$)	Empresa de Grande Porte (R\$)
Pequeno	—	—	54,00	108,00	216,00
Médio	—	—	86,00	173,00	432,00
Alto	—	24,00	108,00	216,00	1.080,00

Fonte: MINAS GERAIS, 2005.

3.3.2 .Danos ambientais provenientes da aplicação do pavimento no solo

Para os danos referentes à aplicação do pavimento, foi constatado que os principais problemas são em relação à temperatura do micro-clima urbano, que tende a aumentar com a absorção de calor pelos pavimentos e em relação às mudanças no escoamento da água pluvial, que tende a escoar em velocidades maiores por causa da impermeabilização do solo, que dificulta a retenção de água.

Os lençóis de água também são afetados com a diminuição da retenção de água e apresentam redução dos volumes de água armazenados.

Outro problema ainda derivado desta situação é que os sistemas de drenagem urbana não estão preparados para receber uma taxa de escoamento muito grande ao mesmo tempo e

as enchentes tornam-se recorrentes em várias cidades.

O ruído também apresenta-se como uma forma de modificação do ambiente, e pode variar em função do pavimento.

Os métodos escolhidos para análise destes parâmetros foram: medição da temperatura dos pavimentos com termômetro e medição do ruído por decibelímetro.

O escoamento superficial foi contemplado em ensaios realizados referentes ao aspecto de trafegabilidade.

3.3.3 Possibilidade de incorporação de resíduos na produção ou aplicação do pavimento de alguns materiais de difícil reaproveitamento.

Os estudos mostram que a utilização da pavimentação incorre em inevitáveis danos ambientais, mas que podem ser diminuídos ou então servir como meio de reciclagem para outros materiais. Os principais itens que vem sendo pesquisados nesta área são:

i. Utilização de pneus

No Brasil, as resoluções 258/1999 e 301/2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), dispõem sobre a coleta e destinação de pneus inservíveis, estabelecendo que fabricantes e importadores são obrigados a dar uma destinação ambientalmente adequada a estes materiais.

As formas de destinação são regulamentadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que determina quais processos são ambientalmente corretos. (RECICLANIP, 2009).

Os principais processos empregados em relação à destinação de pneus relativos à pavimentação são: co-processamento e asfalto-borracha e estão explicados na tabela 3.7:

Co-processamento: Pelo seu alto poder calorífico, os pneus inservíveis são largamente utilizados como combustível alternativo em fornos de cimenteiras, em substituição ao coque de petróleo.



Asfalto-borracha: Adição à massa asfáltica de pó de borracha oriundo da trituração de pneus inservíveis. O asfalto-borracha tem uma vida útil maior, além de gerar um nível de ruído menor e oferecer maior segurança aos usuários das rodovias.

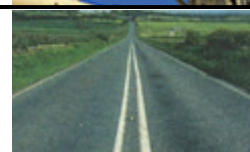


Tabela 3.7: Destinações ambientalmente adequada para pneus.
Fonte: RECICLANIP, 2009

Embora a utilização de pneus incorporados no pavimento não seja uma medida direta de mitigação aos efeitos ambientais da utilização do asfalto, ela contribui para a diminuição dos danos ambientais referentes ao descarte dos pneus, pois representa uma destinação ambientalmente correta para pneus inservíveis e que na maioria das vezes são descartados de maneira inadequada.

Os processos mais empregados para adição da borracha de pneus às misturas asfálticas são por via seca, onde a borracha entra como um agregado, entretanto a transferência das características da borracha para a mistura é mais prejudicada, e por via úmida, em que a borracha é misturada ao ligante, ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e maior resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original.

O primeiro impacto positivo no uso de borracha em misturas asfálticas está no ambiente, pois a restauração de pavimento com esse tipo de asfalto pode usar até mil pneus por quilômetro, o que reduz o depósito desse material em aterros ou fora deles, diz o pesquisador Luciano Specht, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijuí). No entanto, outras vantagens ainda superam o ganho ambiental: aumento da vida útil do pavimento, maior retorno elástico, maior resistência ao envelhecimento precoce por oxidação do cimento asfáltico de petróleo e às intempéries e, ainda, maior resistência às deformações plásticas, evitando, assim, trilhas de rodas indesejáveis. Estas são algumas das qualidades do produto elencadas pelo engenheiro José Roberto Ometto, diretor de engenharia da Concessionária Colinas, empresa que implantou a restauração com esse tipo de asfalto, em regime experimental, em dois trechos das rodovias que administra. (GIULIO, 2007, p.1).

Cury (2001) cita o Relatório sobre redução de Ruído de tráfego pelo uso do asfalto emborrachado, no Condado de Sacramento da Califórnia (EUA), que mostrou uma diminuição considerável do nível de ruído de 3 a 5 decibéis, em relação ao asfalto tradicional. Cita ainda que alguns autores, como o professor E. Nakkell, através de seus estudos no Comitê Técnico do Asfalto Emborrachado de Bonn na Alemanha, admitem que essa redução possa chegar a 10 decibéis.

Outro ponto em questão na utilização deste tipo de asfalto é quanto à segurança do pavimento emborrachado, que segundo diversos estudos, é um ponto positivo, pois aumenta a aderência do sistema pneu/pavimento.

A poluição do ar que pode ser produzida pela queima dos pneus quando na mistura com o asfalto também é questionada por algumas pesquisas, entretanto, a maioria dos pesquisadores concorda que as temperaturas de usinagem serão maiores, mas que não chega a ser um problema ambiental porque as usinas dispõem de filtros impedindo que poluentes sejam lançados fora das normas especificadas pelos órgãos ambientais.

A espessura da capa de rolamento executada com CBUQ modificado pela adição de borracha pode ser reduzida em média 30%, embora no Arizona se tenha modelos com redução de 50% da espessura, ocasionando assim, menos toneladas a serem produzidas e menos poluição conseqüentemente.

Ainda são escassas as pesquisas com utilização em vias urbanas, mas o meio científico já começou a fazer trechos experimentais.

O fato é que o custo ainda é em torno 40% maior que um asfalto convencional e isto é um fator limitante para a aplicação em municípios menores.

Quanto aos estudos na área de produção de pavimento intertravado modificado com a adição de borracha, com testes de 8 a 30% de borracha na composição do pavimento, demonstram que a incorporação deste material conduz à uma menor resistência à compressão dos blocos pré-moldados, obtendo valores até 50% menores de resistência que as peças-padrão. Observa-se assim uma relação inversamente proporcional: quanto maior o teor de borracha, menor a resistência da peça.

Há uma controvérsia em relação à adição da borracha nas peças intertravadas e a absorção de água da peça. Algumas versões preconizam que a borracha não influencia a absorção e outras que a absorção é menor.

São observados também o aumento de resistência dos pavers em relação à impactos e uma melhora do comportamento em relação à abrasão após a adição dos pneus.

Entretanto, pode-se inferir que se não há resistência necessária para utilização das peças, as outras propriedades se tornam desinteressantes para a continuidade do estudo, visto que há uma impossibilidade inicial para o uso das peças em calçamento de ruas.

ii. Reutilização de resíduos do próprio pavimento

A reutilização do pavimento betuminoso é realizada através de um procedimento denominado fresagem, que consiste na retirada da camada de rolamento do pavimento, através de uma máquina que provoca uma espécie de escarificação.

Pode-se reutilizar os resíduos da fresagem de duas formas: o material recebe uma nova dosagem de asfalto (CAP) e é aplicado imediatamente no pavimento, e no segundo, o material é inserido no processo de fabricação do CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) como agregado, numa proporção adequada.

Há ainda uma nova proposição utilizando solventes e microemulsões para extrair o ligante betuminoso cap e reutilizá-lo, embora ainda com custo elevado. (DANTAS et al, 2007).

A utilização da fresagem é recomendada principalmente para rodovias, aeroportos, por ser um procedimento mais complexo e com equipamentos mais específicos.

Quanto ao pavimento intertravado, diversos estudos, como de Butler (2003), Leite (2001), e Oliveira (2002), consideram que os resíduos da construção civil, como por exemplo os resíduos de concreto, apresentam grande potencial para reciclagem na produção de concretos, pois as propriedades permanecem satisfatórias.

A recomendação de vários trabalhos na área é a de substituição de 20% ou até no máximo 50% dos agregados comuns por reciclados.

Simieli et al (2007), estudou a utilização deste resíduo de concreto reciclado na proporção de 40%, para a produção de peças pré-moldadas. Seus resultados foram satisfatórios em termos de resistência mecânica (sempre maiores de 35MPa), de módulo de elasticidade e trabalhabilidade, além de apresentarem excelente acabamento. Seus custos não foram pesquisados neste trabalho.

iii. Outras utilizações : Utilização do asfalto como gerador de energia

Duas empresas holandesas, a Ooms Avenhorn Holding BV e a WTH Vloerverwarming BV desenvolveram um sistema chamado Road Energy System, que aproveita a energia solar absorvida pelos pavimentos betuminosos para fazer o aquecimento ou resfriamento de construções e ruas.

O sistema funciona de modos distintos no verão e no inverno. No verão, o calor absorvido pelo pavimento é coletado por gasodutos e armazenado em um aquífero subterrâneo. Posteriormente pode ser bombeado novamente para o pavimento no inverno, época marcada por neves (na Holanda), em que se é necessário um aquecimento da pista de rolamento, ou para prédios, com a função de aquecimento dos ambientes. No inverno, o ar frio armazenado é utilizado da mesma forma, porém com a utilização de outro gasoduto e outro aquífero para armazenamento e poderá ser utilizado para resfriamento dos ambientes de prédios ou resfriamento da pista de rolamento.

Os gasodutos ficam localizados cerca de cem metros de distância e podem ter até cem metros de profundidade.

As figuras 3.6 a 3.9 ilustram o funcionamento do sistema.

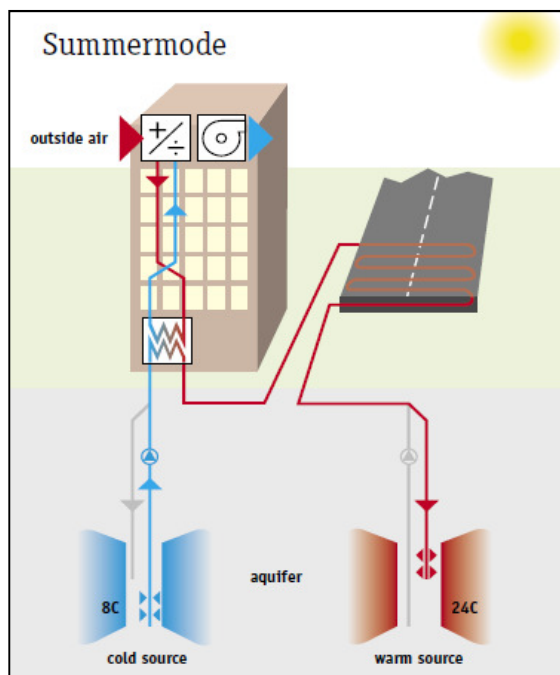


Figura 3.6: Funcionamento do Road Energy System no verão
 Fonte: ROAD ENERGY SYSTEM, 2004.

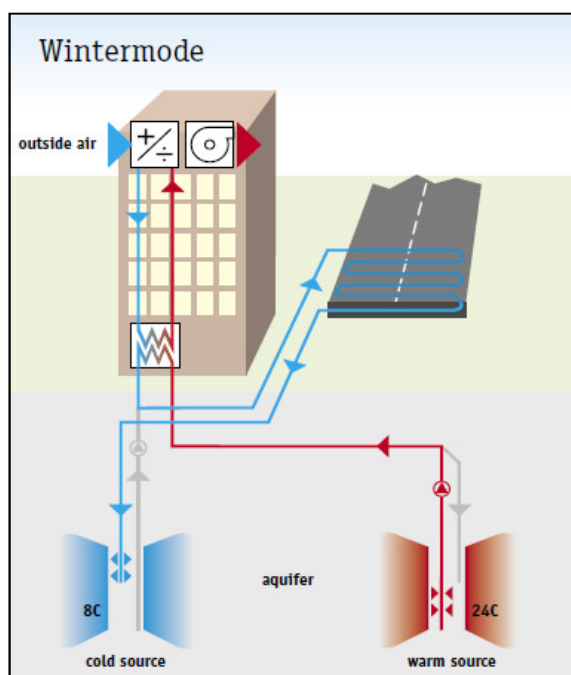


Figura 3.7: Funcionamento do Road Energy System no inverno
 Fonte: ROAD ENERGY SYSTEM, 2004.



Figura 3.8: Funcionamento do Road Energy System
Fonte: ROAD ENERGY SYSTEM, 2004.



Figura 3.9: Funcionamento do Road Energy System
Fonte: ROAD ENERGY SYSTEM, 2004.

Esse sistema poupa energia primária considerável (gás natural/ energia elétrica), que é exigida pelo aquecimento central e sistemas de refrigeração de edificações.

Na cidade de Avenhorn, na Holanda, a energia solar coletada de uma faixa de asfalto de estrada de cerca de 182 metros e de um pequeno estacionamento ajuda a gerar energia elétrica para 70 apartamentos de um prédio. Já um centro industrial com quase 15 mil metros quadrados na cidade de Hoorn recebe a energia de mais de 3 mil metros quadrados de asfalto. Outro exemplo ainda são as passarelas de asfalto presentes em uma unidade da Força Aérea holandesa, que estão sendo utilizadas para gerar energia para um hangar. (FOLHA DE SÃO PAULO, 2008)

Os pesquisadores do Instituto Worcester, nos Estados Unidos, também vem pesquisando as formas de se aproveitar a energia absorvida pelo asfalto e foi bem sucedida a experiência da colocação de tubulação de cobre incorporada no asfalto para geração de água

quente em edificações. O projeto agora está passando pela avaliação de custos e segundo as primeiras avaliações, a tubulação de cobre terá que ser substituída por um trocador de energia de preço mais acessível e a incorporação da tubulação poderá ser feita durante o processo de recapeamento das vias (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2008).

Entretanto, é necessário que as pesquisas para aumento da eficiência da energia solar se desenvolvam mais, porque estes sistemas ainda tem grande custo e pouca eficiência para uso no Brasil, citando principalmente pequenas e médias cidades.

A importância do estudo e controle destas variáveis permite o desenvolvimento sustentável das cidades em relação à gestão viária, e esta percepção tem levado a uma tendência de criação de leis locais e exigências ambientais para a execução pavimentos em diversos municípios e estados.

Como exemplo, cita-se o Decreto nº 48.075, válido para a cidade de São Paulo, de dezembro de 2006, que prevê que os serviços de pavimentação de ruas deverão, em geral, incluir materiais reciclados provenientes de resíduos sólidos da construção civil. A recusa da empresa poderá acarretar penalidades administrativas e a possibilidade de cancelamento do contrato público unilateralmente. (BAETA, 2007).

Um outro exemplo ainda em São Paulo é Lei Municipal nº 14.015, de 28/06/2005 que dispõe sobre os procedimentos adequados para o descarte e reciclagem de misturas asfálticas retiradas dos pavimentos urbanos municipais. (SÃO PAULO, 2005)

Na opinião do advogado de meio ambiente do Koury Lopes Advogados (KLA), Gustavo Niskier, esta criação de leis locais esta ocorrendo pelo fato das prefeituras responderem como rés em ações judiciais por danos ambientais causados por empresas contratadas. (BAETA, 2007).

3.4 Tabelas Comparativas

Considerando as informações dos pavimentos intertravados e asfálticos desenvolvidos neste estudo, foram observadas as particularidades de cada um e para uma melhor análise comparativa, foram elaboradas três tabelas com as variáveis estudadas, economia, trafegabilidade e aspectos ambientais, buscando as diferenças principais entre os dois pavimentos.

A Tabela 3.8 trata da comparação entre os pavimentos no aspecto econômico, a Tabela 3.9 trata dos aspectos relativos à trafegabilidade, e por fim, a Tabela 3.10 compara os aspectos ambientais dos dois pavimentos.

Tabela 3.8: Comparação da variável economia em pavimentos urbanos flexíveis e intertravados.

ECONOMIA	PAVIMENTOS	
	INTERTRAVADO	ASFALTO
Construção	Utilização de mão-de-obra mais simples	Utilização de mão-de-obra especializada e treinada
	Poucas técnicas de projeto e praticamente invariáveis	Muitos métodos de dimensionamento e bastante variáveis
	A resistência aumenta com a idade	A resistência costuma diminuir com a idade, principalmente em climas quentes
	As estruturas de drenagem podem ser mais simples	São necessárias estruturas de drenagem mais complexas
	Processo de execução mais simples	Processo de execução mais complexo
	Custo do revestimento é maior	Custo do revestimento é menor
	Grande custo inicial provocado pelas altas constantes no preço do cimento e consequentemente dos blocos pré-moldados, e pela baixa velocidade de aplicação do pavimento.	Custo inicial mais baixo devido à alta velocidade de aplicação destes pavimentos. Embora o insumo CAP também seja caro, este pavimento ainda permanece mais barato que os blocos.
	Execução mais lenta	Execução mais rápida
	Produção do pavimento mais simples	Produção do pavimento mais complexa
	Equipe de mão-de-obra numerosa	Equipamento numeroso e complexo
	O controle de qualidade dos materiais empregados (peças de concreto, areia etc.) pode ser feito em seus próprios centros de produção	O controle dos materiais empregados pode ser feito no centro de produção, porém alguns itens como temperatura de aplicação e viscosidade devem ser feitos antes da aplicação in loco
	Os materiais utilizados na construção chegam à obra já prontos para aplicação, sem necessidade do emprego de processos térmicos ou químicos	Há necessidade de controle da temperatura de aplicação quando o revestimento é executado à quente
	Economia em 30% na iluminação pública, por ser de cor clara	Sem economia na iluminação pública, por ser de cor escura
	Vida útil acima do projeto	Vida útil compatível com o projeto
	Material de aplicação não perecível	Material de aplicação perecível
Facilidade de estocagem do revestimento	Não pode ser estocado	
Conservação rotineira	Retirada de ervas daninhas que crescem nas juntas frequentemente	Dispensa capina

ECONOMIA	PAVIMENTOS	
	INTERTRAVADO	ASFALTO
Conservação periódica	Inclui retirada e reassentamento de blocos trincados ou desalinhados	Inclui principalmente remendos com tapa-buracos
	Complementação da areia de rejuntamento	-
	Reparos localizados	Reparos localizados
	Custo de manutenção periódica pequeno, porque não envolve equipamentos e materiais caros.	Grande custo de manutenção periódica, uma vez que envolve a utilização de material betuminoso e de mão-de-obra treinada, que são caros.
	Menor dificuldade no caso de necessidade de passagem de rede subterrânea posteriormente	Maior dificuldade e maior custo para execução posterior de redes subterrâneas
	Há facilidade de acesso às instalações de serviços subterrâneos e posterior reparo, sem marcas visíveis e com baixo custo	Dificuldade de acesso no caso de reparos em redes subterrâneas, com custo maior
	Resistem ao ataque de óleos e ao derramamento de combustíveis	É fortemente afetado pelos mesmos agentes;
É menos afetado pelo calor.	Mais afetado pelo calor, provocando o amolecimento e também o envelhecimento	
Não sujeito à trincas por fenômenos de dilatação, retração, flexão e oxidação	Sujeito à trincas por fenômenos de dilatação, retração, flexão e oxidação	
Reabilitação	Permite a reutilização das peças de concreto no revestimento	Não permite reutilização para revestimento, exceto casos de fresagem, o que geralmente não ocorre em áreas urbanas
	Abertura e recomposição das camadas inferiores para deformações e trincamentos relevantes	Abertura e recomposição das camadas inferiores para deformações e trincamentos relevantes
	Custo de reabilitação menor	Custo de reabilitação maior, e dependendo do estado de degradação, próximo da execução de um pavimento novo
Operacionais	Depende da conservação do pavimento	Depende da conservação do pavimento

Tabela 3.9: Comparação da variável trafegabilidade em pavimentos urbanos flexíveis e intertravados.

TRAFEGABILIDADE	PAVIMENTOS	
	INTERTRAVADO	ASFALTO
Segurança - Aderência	Boa reflexão da luz, maior distância de visibilidade horizontal	Pouca reflexão da luz e menor visibilidade horizontal
	Maior rugosidade	Superfície mais lisa
	Sinalização menos visível	Permite sinalização mais visível
	Menor potencial de hidroplanagem	Maior potencial de hidroplanagem
	Sinalização horizontal executada pela utilização de peças coloridas	Sinalização é feita por tintas tipo premix ou drop-on
	Boa aderência - superfície anti-derrapante	Aderência menor, porém depende da faixa granulométrica utilizada
	Permite menor velocidade	Permite maior velocidade
Vibração	Menor conforto para utilização	Grande conforto de utilização
	Maior vibração pela existência de juntas entre os blocos pré-moldados	Menor vibração por não haver juntas no revestimento
	Irregularidade mais comum: afundamento	Irregularidade mais comum: buracos
	Confortável ao trânsito de pedestres	Confortável ao trânsito de pedestres

Tabela 3.10: Comparação da variável aspectos ambientais em pavimentos urbanos flexíveis e intertravados

AMBIENTAIS	PAVIMENTOS	
	INTERTRAVADO	ASFALTO
Danos provenientes da aplicação do pavimento	Pavimento semi-permeável, acumulando água nos poros do concreto das peças pré-moldadas, e depois evaporando. A infiltração de água para o lençol freático é inexistente, porque se houvesse a entrada de água na base do pavimento, ele perderia sua função estrutural.	Pavimento impermeável.
	O escoamento superficial é menor.	Escoamento superficial é maior.
	Menor aquecimento por haver uma reflexão maior	Maior aquecimento do ambiente por ser uma superfície negra e absorver mais o calor. Entretanto tecnologias internacionais buscam utilizar este calor armazenado para aquecer prédios e residências, sendo já realidade na Holanda.
	Maior ruído para o ambiente	Menor ruído para o ambiente
Danos ambientais provenientes à produção da principal matéria-prima do pavimento	Potencial poluidor considerado médio segundo Código 2 (Indústria de produção de cimento) da Lei 14.940 - Estado MG. Entre os principais danos estão: grande consumo de energia e liberação de grande quantidade de dióxido de carbono.	Potencial poluidor considerado alto segundo Código 1 (Indústria de produção de petróleo) da Lei 14.940 - Estado MG. Entre os principais danos estão: grande consumo de energia, liberação de grande quantidade de dióxido de carbono.
Danos ambientais provenientes da produção do revestimento do pavimento	Potencial poluidor considerado pequeno segundo Código 12 (Usina de produção de concreto e asfalto) da Lei 14.940 - Estado MG, e médio pela Resolução Deliberativa COPAM n°74/2004. Entre os principais danos estão: emissão de material particulado, e monóxido de carbono.	Potencial poluidor considerado pequeno segundo Código 12 (Usina de produção de concreto e asfalto) da Lei 14.940 - Estado MG, e médio pela Resolução Deliberativa COPAM n°74/2004. Entre os principais danos estão: emissão de material particulado, monóxido de carbono e hidrocarbonetos.
Reaproveitamento do pavimento	O reaproveitamento das peças pré-moldadas é em torno de 85%, pois após o uso de uma face, é possível utilizar a outra face. Retira-se apenas as peças trincadas.	Fresagem (raspagem do material asfáltico): Pode-se reutilizar os resíduos da fresagem de duas formas: o material recebe uma nova dosagem de asfalto (CAP) e é aplicado imediatamente no pavimento, e no segundo, o material é inserido no processo de fabricação do CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) como agregado, numa proporção adequada. Entretanto é um procedimento usado mais em rodovias por ter alto custo.
Incorporação de resíduos de difícil solução ambiental na produção ou aplicação do pavimento	Co-processamento: Pelo seu alto poder calorífico, os pneus inservíveis são largamente utilizados como combustível alternativo em fornos de cimenteiras, em substituição ao coque de petróleo.	Asfalto-borracha: Adição à massa asfáltica de pó de borracha oriundo da trituração de pneus inservíveis. O asfalto-borracha tem uma vida útil maior, além de gerar um nível de ruído menor e oferecer maior segurança.

A comparação entre as variáveis pesquisadas neste estudo é de fundamental importância na escolha do tipo de pavimento mais adequado às necessidades de cada município.

Vale ressaltar que a primeira decisão a ser feita pelos gestores municipais é a variável independente (economia, trafegabilidade ou ambiente) prioritária. Esta escolha tem um papel essencial na decisão do tipo de pavimento a ser executado. Na grande maioria dos casos, o aspecto mais importante é a variável econômica. No entanto, a medida em que a cidade se desenvolve, os aspectos de trafegabilidade e ambiental vem ganhando espaço no planejamento urbano e na sociedade, podendo ser considerados itens decisivos na escolha do tipo de pavimento.

4 METODOLOGIA

4.1 Etapas da pesquisa:

A metodologia empregada para atingir os objetivos propostos foi desenvolvida em 3 etapas:

- I. Revisão da bibliografia envolvendo conceitos e definições sobre as variáveis dependentes: custo total, trafegabilidade, fatores ambientais e características dos pavimentos flexíveis e intertravados (articulados);
- II. Elaboração de planilha comparativa abordando os fatores que podem ser relacionados às variáveis (custo total; trafegabilidade e fatores ambientais) de caracterização dos dois tipos de pavimentos e o método de medição;
- III. Pesquisa de campo para coleta de dados e informações a respeito dos fatores relacionados às variáveis (custo total; trafegabilidade e fatores ambientais), em um estudo de caso na cidade de Passos, MG e desenvolvimento de procedimentos para a realização de uma análise comparativa entre os dois tipos de pavimentos: flexíveis e intertravados.

4.2 Método da pesquisa:

4.2.1 Métodos utilizados para avaliar fatores econômicos

Para realização da pesquisa no aspecto econômico, foram selecionados os seguintes parâmetros:

- Custos de construção
- Custos de conservação rotineira/periódica
- Custos de reabilitação
- Custos operacionais

Os métodos utilizados para o cálculo dos custos foram:

1. Revestimento flexível:

Os custos de construção, conservação periódica e recuperação das vias urbanas revestidas com pavimento flexível foram baseados nos estudos de Paiva e Pedrazzi (2006). No estudo os autores apresentam uma análise comparativa entre custos de soluções de manutenção paliativa e custos de processo de restauração definitiva para 8 cenários deteriorados com revestimentos do tipo tratamento superficial duplo e 8 cenários com pavimento do tipo concreto betuminoso usinado a quente.

As soluções construtivas consideradas como paliativas foram operações de tapa-buracos e as definitivas foram operações de execução de reforço estrutural em tratamento duplo ou concreto asfáltico, cujos custos unitários dos serviços empregados foram calculados tendo por base a Tabela do DER – SP de 2010.

Assim, neste estudo, foram aproveitados 3 cenários de vias com pavimentos flexíveis, cujos volumes de tráfego e hierarquia viária se assemelham às vias urbanas: local, coletora e arterial, destacadas nesta pesquisa. As camadas de revestimento destas vias são constituídas de: tratamento superficial duplo - TSD (local e coletora) e concreto betuminoso usinado a quente – CBUQ (arterial), e o restante do pavimento é composto de base e sub-base granular e com subleito de CBR de igual valor, dimensionadas pelo método do DNER.

A condição funcional do pavimento, dos vários cenários, foi quantificada a partir de adaptações de procedimentos existentes na literatura. Em cada um dos cenários, hipoteticamente elaborados, possíveis de serem observados na realidade brasileira, foram considerados um conjunto de defeitos com suas frequências de ocorrências de acordo com o volume de tráfego incidente, classe de projeto e categoria hierárquica da via.

Os custos operacionais foram calculados através do estudo feito pelo GEIPOT e financiado pelo Banco Mundial, que relaciona o custo operacional ao Índice de Rugosidade do Pavimento (IRI).

2. Pavimento intertravado

O custo de construção inicial do pavimento intertravado foi baseado na tabela do DER-SP (SÃO PAULO, 2010). Os serviços de manutenção e recuperação deste tipo de pavimento, quando necessário, são simples bastando a remoção localizada das peças, recuperação do trecho danificado (recalque do subleito, vazamento de redes de infra-estrutura,

etc), e reposição de peças. Despesas com operação tapa-buracos, recapeamento, selagem de trincas não existem, como ocorre no pavimento flexível.

Sendo assim, considerou-se, nesta pesquisa, somente o custo inicial de construção do pavimento intertravado como o custo total incidente durante toda a vida útil de utilização da via, hipótese confirmada por técnicos da Prefeitura de Passos consultados. Considerou-se também, o mesmo tipo de pavimento para as vias de hierarquias diferentes; local, coletora e arterial.

Os custos operacionais foram calculados também através do estudo feito pelo GEIPOT.

A tabela 4.1 resume os parâmetros analisados e o método de avaliação.

Tabela 4.1: Métodos de avaliação x Parâmetros selecionados para fatores econômicos

Fatores econômicos (Custos)					
Parâmetros analisados	Construção	Conservação Rotineira	Conservação periódica	Reabilitação	Operacionais
Método	Preços DER SP 2010	Preços DER SP 2010 e Estudo de PAIVA E PEDRAZZI 2006		Tabelas do estudo GEIPOT-Banco Mundial 1976-1982	

4.2.2 Métodos utilizados para avaliar fatores de trafegabilidade

Para realização da pesquisa no aspecto trafegabilidade, foram selecionados os seguintes parâmetros:

I - Segurança: aderência ao pavimento

II - Conforto: vibração

Os métodos escolhidos para análise da segurança foram o ensaio da mancha de areia e o de drenabilidade, e o método escolhido para análise do conforto foi o levantamento visual contínuo, conforme mostra a tabela 4.2.

Tabela 4.2: Métodos de avaliação x Parâmetros selecionados para fatores de trafegabilidade

Fatores de Trafegabilidade			
Parâmetros analisados	Segurança		Vibração
Método	Ensaio Mancha de areia	Drenômetro	Levantamento visual Contínuo

I – Segurança: aderência

- Ensaio da mancha de areia

A sequência de execução, segundo a Norma Americana (ASTM – E965), deve ser: limpeza da superfície com escova, espalhamento de volume conhecido de areia (25000mm³) peneirada passante na peneira de malha 0,315mm e retida na peneira de malha 0,160mm, utilizando um espalhador com revestimento de borracha.

Os movimentos para espalhar areia devem ser circulares. Em seguida, mede-se o diâmetro da mancha em 4 direções, e então, com a média, calcula-se a altura da macrotextura, ou altura de areia, pela equação 4.1:

$$HS = V / A \quad (4.1)$$

HS= altura média de areia

V = volume

A= área da mancha de areia

Os resultados são comparados com a tabela 4.3.

Tabela 4.3: Classificação da macrotextura tendo como parâmetro a altura média de areia e sua aplicação para revestimentos.

Textura Superficial	Limites de valores de h_m (mm)		Aplicação do revestimento
	Máximo	Mínimo	
Muito Fina	< 0,2		Não deve ser utilizado
Fina	0,2	0,4	Indicado p/ zonas urbanas $V < 80$ Km/h
Média	0,4	0,8	Indicado p/ vias com $80 \text{ Km/h} < V < 120 \text{ Km/h}$
Grossa	0,8	1,2	Indicado p/ vias rápidas com $V > 120 \text{ Km/h}$
Muito Grossa	> 1,2		Indicado em casos especiais

Fonte: Adaptado de PASQUET, 1968.

- Ensaio de drenabilidade

Para realização do ensaio são necessários um cronômetro e um drenômetro.

O drenômetro deve possuir as seguintes características:

- Cilindro transparente de acrílico de 350mm de altura;

- Delimitação através de duas marcas de um volume de 0,7 litros, no terço médio da altura do cilindro;
- Base em placa de acrílico, com furo central de dimensões padronizadas;
- Existência de uma borracha acoplada à placa de acrílico com função de aderir à superfície;
- Fixação do cilindro sobre a superfície do pavimento com um peso;
- Rolha de borracha de silicone

Os resultados indicam a taxa de escoamento superficial de cada pavimento e são expressos em termos de tempo de escoamento ou de vazão de água escoada, com o objetivo de verificar a capacidade drenante frente à chuvas. O resultado considerado satisfatório será analisado de forma que se apresente o maior resultado possível em termos de retenção do escoamento superficial, porém sem comprometer a segurança.

As variáveis determinadas no ensaio da mancha de areia e de drenabilidade são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a altura de areia, menor o tempo de escoamento da água pelo drenômetro.

Pode-se assim, comparar a drenabilidade à altura da mancha de areia e posteriormente comparar quanto à Tabela de Pasquet (PASQUET, 1968) para analisar a segurança.

Foi convencionado para este estudo fazer a medição nos bordos e centro da pista.

II – Conforto:

- Levantamento Visual Contínuo

O Levantamento Visual Contínuo (LVC) faz parte da Instrução de projeto IP DE P00/003 do Departamento de Estradas de Rodagem e segue a norma DNIT 008/2003 PRO.

Por se tratar de uma norma aplicada para rodovias, o procedimento recomendado pela norma foi adaptado, de modo que pudesse ser utilizado em vias urbanas, assim, o comprimento do segmento foi modificado da extensão recomendada na norma de 1 quilômetro como mínimo e 6 quilômetros como máximo para 100 metros como mínimo e 600 metros como máximo. Os trechos poderão ter menos de 100 metros quando se tratar do final de um trecho e poderão ter mais de 100 metros em caso de segurança absoluta de homogeneidade.

Os resultados indicam o Índice de Conforto do Pavimento Flexível (ICPF) calculado a partir da média dos índices de cada trecho.

A Tabela 4.4 mostra a correspondência entre o ICPF e o estado de conservação correspondente do pavimento.

Tabela 4.4: Resultados de ICPF x Estado de conservação do pavimento.

Conceito	Descrição	ICPF
Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5 – 4
Bom	DESGASTE – Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas.	4 – 3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEADOS – Pavimento trincado, com “panelas” e remendos pouco freqüentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 – 2
Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS – Defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas – remendos superficiais ou profundos.	2 – 1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO – Defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base.	1 – 0

Fonte: SÃO PAULO, 2006a.

4.2.3 Métodos utilizados para avaliar aspectos ambientais

A análise ambiental contempla fatores amplos, entretanto, foi escolhido somente o aspecto dos danos ambientais provenientes da aplicação do pavimento, por ser um aspecto possível de ser analisado no estudo de caso. Os outros aspectos podem ser contemplados com revisão da literatura especializada.

Para os danos referentes à aplicação do pavimento, foram considerados como fatores modificadores o ruído, quanto ao ambiente e a temperatura, quanto ao micro-clima urbano. Os

métodos escolhidos para análise foram respectivamente: medição do ruído por decibelímetro e medição da temperatura com termômetro.

A Tabela 4.5 relaciona os parâmetros estudados e os métodos de análise.

Tabela 4.5: Fatores ambientais: Parâmetros analisados e método de análise.

Fatores Ambientais	
Parâmetros analisados	Danos ambientais referentes à aplicação do revestimento
Método	Decibelímetro
	Termômetro

- Decibelímetro

O decibelímetro é o instrumento utilizado para avaliação de ruído. Para a medição foram utilizados os seguintes critérios, retirados de trabalhos semelhantes já realizados, das normas NBR 10.151 (Avaliação de ruído em áreas habitadas) e NBR 10.152 (Níveis de ruído para conforto acústico) e das orientações do professor da Faculdade de Ensino Superior de Passos, conveniada com a Universidade Estadual de Minas Gerais, Prof. Sandoval Soares Silveira:

- Escolha de um dia com pouco movimento, com sol e sem vento;
- Escolha do carro-teste em perfeitas condições de funcionamento, com pneus e motor bem conservados;
- Realização da medição em pelo menos três vias para cada pavimento: via local, coletora e se possível, arterial;
- Medição em local plano, e os arredores sem obstáculos de qualquer natureza;
- Posicionamento do equipamento à 1,2 metros de altura do solo, fixado sobre um tripé, no início da calçada (no mínimo 1,5 metros de paredes, edifícios e outras superfícies refletoras);
- Nível de pressão sonora equivalente ponderado na escala A modo slow.

A escala utilizada na medição é importante porque o ouvido humano registra com mais facilidade as frequências médias e agudas, assim o nível sonoro medido, expresso em dB, é corrigido por aparelhos de medição de ruído, para se aproximar à sensação de ruído

efetivamente percebida pelo ouvido. Esse sistema de correção chama-se "filtro de ponderação", "curva de ponderação" ou "escala de compensação". Existem diversos sistemas mas o mais recomendado é a Escala de Compensação A – de nível sonoro expresso em dB(A).

O equipamento necessário para realização do ensaio foi um medidor de nível sonoro com escala de compensação A e respostas de leitura rápida.

A sequência para medição foi estabelecida assim: inicialmente marcar em cada via o ponto de análise, depois, medir o ruído dos veículos em funcionamento com marcha-lenta, e então medir o ruído da passagem dos veículos nas velocidades de 30 Km/h e 45Km/h com dois carros-teste.

A avaliação dos níveis limites de ruído segue o critério geral da NBR 10.152, que é usado para zoneamento urbano e dado pela equação 4.2:

$$N_c = 45 + C_p + C_z \text{ [dB(A)]} \quad (4.2)$$

Sendo que:

- N_c = Nível de ruído
- C_p Diurno = 0
- C_p Noturno = -5
- C_z zona de hospitais = 0
- C_z residencial urbana = +10
- C_z centro da cidade (comércio) = +20
- C_z Zona industrial = +25

As seguintes considerações da Organização Mundial de Saúde foram levadas em consideração para avaliação dos resultados:

- 55 dB(A) como nível médio de ruído diário para uma pessoa viver bem.
 - acima de 75 dB(A), começa a acontecer o desconforto acústico.
 - acima de 80 dB(A), as pessoas mais sensíveis podem sofrer perda de audição, o que se generaliza para níveis acima de 85 dB(A).
- Ensaio para medição de Temperatura

O ensaio consiste em medir a temperatura do ambiente o mais próximo possível do

pavimento.

É necessário para este ensaio um termômetro com intervalo de variação de temperatura adequado para as temperaturas que se pretender medir, no caso pode-se utilizar a variação 0 – 50° C, e que meça a temperatura de bulbo normal. Além dele um cronômetro é necessário.

Para realização deste ensaio, entretanto, optou-se pelo equipamento de medição mais amplo, composto de um termômetro de bulbo seco, um de bulbo úmido (umedecido com água destilada) e um bulbo normal.

Este ensaio segue a norma NR 15.

Os procedimentos para medição são:

Montar o termômetro. Umedecer a ponta do termômetro de bulbo úmido com água destilada. Após mínimo de meia hora, fazer as leituras de bulbo úmido, bulbo seco e bulbo normal no leitor de temperatura.

Como o objetivo é a comparação entre pavimentos, convencionou-se como o ponto mais crítico o horário de 11:30 às 14 horas para realização dos ensaios.

Os resultados são comparados entre si.

5 ESTUDO DE CASO

Visando avaliar a aplicação da pesquisa, foi realizado um estudo de caso em algumas vias urbanas de Passos, MG, uma cidade de porte pequeno, para analisar a adequabilidade dos dois tipos de pavimentos: flexíveis e intertravados.

5.1 Introdução:

O estudo de caso consiste na seleção de vias urbanas da cidade de Passos, MG, que contenham na mesma via trechos executados com pavimento intertravado e trechos executados com pavimento betuminoso tipo Tratamento Superficial Duplo (TSD) ou Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ).

Após a seleção foi feita a comparação entre as vias considerando sua hierarquia, e o desempenho dos revestimentos nestes locais.

As variáveis analisadas foram: custos inerentes a cada tipo de revestimento, implicações ambientais e trafegabilidade.

5.2 Caracterização do objeto:

Passos é uma cidade com 102.765 habitantes, com a taxa média de crescimento populacional de 0,93% ao ano, próximo do crescimento populacional brasileiro, com estimativa média de 1,11% ao ano, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007).

É o principal núcleo urbano da região e tem como atividades econômicas: agroindústria, agropecuária, avicultura, suinocultura, indústria confeccionista, moveleira e setor de serviços.

A figura 5.1 mostra a localização desta cidade, no ponto marcado “A”:



Figura 5.1: Localização de Passos.
 Fonte: Adaptado de GOOGLE MAPS, c2010.

5.3 Identificação dos trechos escolhidos:

Para a escolha das ruas do campo de observação foram adotados alguns critérios: ruas planas ou que contenham trechos planos, com pequena ou média ocorrência de defeitos, sem impedimentos como anteparos ou construções, que contenham mínima quantidade de árvores e ruas com idades próximas de execução.

Três tipos de vias (local, coletora e arterial) foram escolhidas para cada tipo de pavimento analisado: Rua Santa Ines (local), Rua Antônio Celestino (coletora) e Avenida Dr. Breno Soares Maia(arterial).

Todos os pavimentos tem entre 20-30 anos.

As figuras 5.2 a 5.10 mostram as vias escolhidas para análise e os revestimentos dos pavimentos em detalhe:

I -Via arterial



Figuras 5.2, 5.3 e 5.4: Visão geral, Pavimento CBUQ e Pavimento intertravado

II – Via coletora



Figuras 5.5, 5.6 e 5.7: Visão geral, Pavimento CBUQ e Pavimento intertravado

III – Via local



Figuras 5.8, 5.9 e 5.10: Visão geral, Pavimento CBUQ e Pavimento intertravado

5.4 Aplicação da metodologia:

5.4.1 Economia

i. Custos de construção, conservação periódica e reabilitação

Os custos de construção, conservação e recuperação dos pavimentos das vias urbanas das hierarquias local, coletora e arterial, derivados do estudo de Paiva e Pedrazzi e adaptados para esta pesquisa, são mostrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Custos de construção, conservação e recuperação de vias com pavimento betuminoso

Estudo econômico da construção, conservação e recuperação das vias urbanas					
Cenário	Hierarquia Viária	Tipo do Pavimento	Custos R\$/m ²		
			Construção	Intervenção	
				Paliativa	Definitiva
I	Local	TSD	30,09	3,88	16,45
II	Coletora	TSD	35,15	4,35	16,45
III	Arterial	CBUQ	60,98	5,70	26,65

Fonte: adaptado de PAIVA; PEDRAZZI, 2006.

Os custos de construção tem por base a Tabela de Preços do DER – SP de 2010, e os custos de intervenção são retirados do estudo de Paiva e Pedrazzi, de 2006.

Faz-se necessário, então, atualizar os custos de intervenção para o ano de 2010. Adotando-se a TJLP (Taxa de Juros a Longo Prazo) divulgada pela Fundação Getúlio Vargas como índice de correção no período de 2006 a 2010, tem-se o valor corrigido monetariamente, conforme mostrado na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Correção dos valores de intervenções de 2006 para 2010

		2010	2006	2006	2010	2010
		Construção	Intervenção		Intervenção	
			Paliativa	Definitiva	Paliativa	Definitiva
Local	TSD	30,09	3,88	16,45	5,02	20,04
Coletora	TSD	35,15	4,35	16,45	5,62	20,04
Arterial	CBUQ	60,98	5,7	26,65	7,37	32,47

As intervenções ou soluções construtivas consideradas como paliativas foram operações de tapa-buracos, e as definitivas foram operações de execução de reforço estrutural em tratamento duplo ou concreto asfáltico, e os custos unitários dos serviços empregados

foram retirados do estudo de Paiva e Pedrazzi (2006), e atualizados para 2010 segundo o índice da Fundação Getúlio Vargas denominado Conservação Rodoviária, que é publicado mensalmente na Revista Informador das Construções.

Considerou-se neste estudo que o processo de intervenção de conservação ou recuperação ocorre no momento que a via apresenta um estado de conservação no limite do aceitável, ou seja, após 8 anos de serviço, na média brasileira.

A vida útil dos processos de intervenção foi adotada como sendo de 2 anos para as soluções paliativas e de 10 anos para as soluções definitivas, dentro de um período de projeto de 20 anos do pavimento.

Observa-se através dos dados da Tabela 5.1 que os custos das intervenções paliativas vão crescendo em função da hierarquia da via. Isso ocorre devido a solicitação mais intensa do tráfego. Verifica-se também, que os custos de intervenção definitiva da via local e coletora são iguais, pois na intervenção definitiva é executada uma nova camada de tratamento superficial duplo.

Quanto ao pavimento intertravado, considerou-se, nesta pesquisa, somente o custo inicial de construção do pavimento como o custo total incidente durante toda a vida útil de utilização da via, hipótese confirmada por técnicos da Prefeitura de Passos consultados. Considerou-se também, o mesmo tipo de pavimento para as vias de hierarquias diferentes; local, coletora e arterial.

A Tabela 5.3 mostra custo inicial de construção do pavimento intertravado considerado neste estudo.

Tabela 5.3: Custos de construção, conservação e recuperação de vias com pavimento intertravado

Hierarquia Viária	Tipo do Pavimento	Custos R\$/m ²		
		Construção	Intervenção	
			Paliativa	Definitiva
Local, coletora e arterial	Intertravado (8 cm)	69,32	0,00	0,00

Fonte: adaptado de PAIVA; PEDRAZZI, 2006

Observa-se na Tabela 5.3 que os custos de possíveis intervenções foram desprezados, pois considera-se um projeto elaborado segundo os procedimentos preconizados pelo métodos de dimensionamento atuais, e a aplicação de um método construtivo adequado durante a construção do pavimento urbano faz com que esta hipótese seja plausível.

Considerando para os dois pavimentos um período de projeto de 20 anos, tem-se a comparação levando em conta dois cenários.

O primeiro cenário do pavimento betuminoso é a intervenção paliativa no pavimento após 8 anos de serviço e posteriormente novas intervenções do mesmo tipo de 2 em 2 anos.

O segundo cenário é a intervenção definitiva no pavimento betuminoso após 8 anos e posteriormente após 16 anos de serviço.

Nos dois cenários anteriores o pavimento intertravado é considerado sem valor relevante de custo de manutenção.

Para a projeção dos custos utilizou-se a Taxa de Juros a Longo Prazo (TJLP) a 6%.

Tabela 5.4: Cenário 1

		2010	2010	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
		CC	IP	CC + IP	CC + IP	CC + IP	CC + IP	CC + IP	CC + IP	CC + IP
Local	TSD	30,09	5,02	38,09	47,07	56,06	65,04	74,02	83,01	91,99
Coletora	TSD	35,15	5,62	44,11	54,19	64,26	74,33	84,41	94,48	104,55
Arterial	CBUQ	60,98	7,37	72,73	85,93	99,12	112,32	125,52	138,72	151,92

CC = Custos de Construção

IP = Intervenção paliativa

Tabela 5.5: Cenário 2

		2010	2010	2018	2026	2030
		CC	ID	CC + ID	CC + ID	CC + ID
Local	TSD	30,09	20,04	62,03	112,95	112,95
Coletora	TSD	35,15	20,04	67,09	118,01	118,01
Arterial	CBUQ	60,98	32,47	112,73	195,22	195,22

CC = Custos de Construção

ID = Intervenção Definitiva

ii. Custos Operacionais

Não há um estudo comparativo entre os custos operacionais em pavimentos intertravados e betuminosos, porém, o estudo desenvolvido pelo GEIPOT (1976-1982) através do United Nations Development Programme (UNDP/76), e financiado pelo Banco Mundial estabelece o custo operacional relacionado ao IRI do pavimento.

Os dados encontrados pelo estudo foram atualizados para 2010, seguindo o modelo de atualização proposto por Mesquita (2001), quanto à equivalência de câmbio entre as moedas dólar e real, e quanto à inflação.

Este modelo propõe a utilização de um veículo padrão que já tenha sido utilizado no estudo do Banco Mundial, e que se encontra facilmente seu custo operacional atualizado em tabelas prontas, e a posterior comparação deste valor, com o valor encontrado nas tabelas do banco Mundial.

Com estes dois valores, é possível calcular os índices de atualização propostos por Mesquita (2001) e que vão valer para todo o restante dos veículos pesquisados no estudo do Banco Mundial.

A atualização da referida tabela do Banco Mundial, para o dia 31 de julho de 2010, foi feita da seguinte maneira:

Para a atualização cambial, foi considerado o câmbio atual, que corresponde à U\$1 = R\$1,77 (31/jul/2010).

$$IAC = R\$1,77$$

IAC= Índice de Atualização Cambial

O Índice de Atualização Inflacionária foi calculado pela equação 5.1:

$$IAI = (COV_{(R\$/Km)}) / (COV_{(U\$/Km)} * IAC) \quad (5.1)$$

Onde:

IAI = Índice de Atualização Inflacionária

COV = Custo Operacional do Veículo

Para o cálculo do custo operacional do veículo (COV), primeiramente foi obtido o custo operacional de um caminhão tipo semi-pesado, (do mesmo tipo utilizado nos estudos de Mesquita (2001)), encontrado nas tabelas do Guia do Transportador, que é uma empresa especializada na geração de informação, conhecimento e prestação de serviços, inclusive de consultoria, para o setor de transporte e logística.

Foi considerado para este cálculo que este tipo de caminhão tem um custo fixo (CF) mensal da ordem de R\$ 4.695,23 e percorre uma distancia média (X) mensal de 9.000 Km (Guia do Transportador/Julho/2010), conforme demonstra a equação 5.2.

$$COV_{cam (R\$/Km)} = \text{Custo fixo} / \text{Distância rodada} + \text{custo variável} \quad (5.2)$$

$$COV_{cam (R\$/Km)} = \text{Custo fixo} / \text{Distância rodada} + 0,9811$$

$$COV_{cam (R\$/Km)} = 4.695,23/9.000 + 0,9811 = 1,5027.$$

Assim, tem-se que:

$$IAI = (COV_{(R\$/Km)}) / (COV_{(U\$/Km)} * IAC)$$

$$IAI = 1,5027 / 0,2074 * 1,77 = 4,0937.$$

O valor 0,2074 é retirado da Tabela 5.3, e representa os mesmos custos encontrados para o caminhão do exemplo, mas no ano de 1976.

A partir deste ponto é possível refazer a tabela encontrada no estudo do Banco Mundial e atualizar todos os valores, conforme demonstrado na tabela 5.6.

A coluna Atualização Inflacionária corrige o valor pela inflação gerada no período, multiplicando-se a coluna de custos operacionais em dólares no ano de 1976 pelo valor encontrado no índice IAC.

A coluna da Atualização Inflacionária é feita multiplicando-se os valores obtidos na coluna de Atualização cambial pelo índice IAI, e corresponde aos valores dos Custos Operacionais atualizados.

Tabela 5.6: Atualização inflacionária e cambial de custos operacionais

Veículos	IRI m/Km	V Km/h	Custos operacionais (U\$) ano 1976	Atualização cambial (R\$/Km)	Atualização inflacionária (R\$/Km)
Carros	2,8	62,7	0,0468	0,08	0,339106
	7,4	59,3	0,0632	0,11	0,457938
	12,0	55,8	0,086	0,15	0,614055
Ônibus	2,8	72,1	0,2068	0,37	1,498442
	7,4	54,7	0,2447	0,43	1,773059
	12,0	43,6	0,2986	0,53	2,163611
Caminhões	2,8	64,4	0,2074	0,37	1,502789
	7,4	48,7	0,2836	0,50	2,054923
	12,0	37,0	0,363	0,64	2,630243
Articulados	2,8	62,3	0,4323	0,77	3,132381
	7,4	39,6	0,5736	1,02	4,156219

As retas encontradas para as equações do COV em relação ao IRI são do tipo linear, conforme demonstra o gráfico 5.1, encontrado por Mesquita (2001).

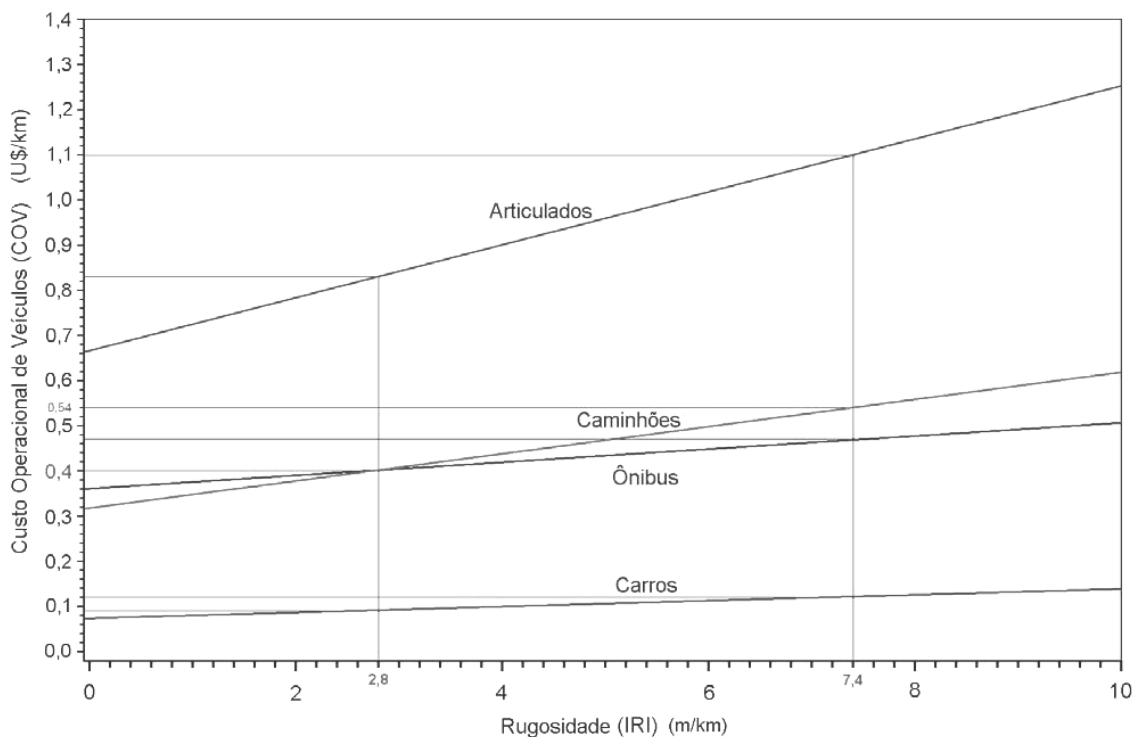


Gráfico 5.1: Custos operacionais de veículos x Rugosidade
Fonte: MESQUITA, 2001, p.91.

O conhecimento da irregularidade de uma via, como vimos, tem correlação com a qualidade ao rolamento, bem como com os vários componentes dos custos operacionais dos veículos.

A irregularidade longitudinal medida na superfície de um pavimento é a diferença entre cotas reais e teóricas do perfil (alinhamento) de uma via e está diretamente relacionada ao processo construtivo e aos desgastes oriundos do tráfego a que ela está submetida e da variação climática. Então, a determinação da irregularidade é um procedimento de avaliação da serventia da superfície do pavimento.

Assim, considerando que os pavimentos flexíveis das vias estudadas: local, coletora e arterial sofrem um processo de intervenção periodicamente, para recuperação da qualidade de serviço oferecido, e que os pavimentos intertravados não necessitam de intervenções, optou-se por considerar que os pavimentos, (flexíveis e intertravados) apresentam o mesmo coeficiente de irregularidade.

Dessa forma pode-se adotar o mesmo custo operacional para os veículos, circulando nas vias de pavimentos flexíveis e intertravados.

5.4.2 Trafegabilidade

i. Ensaio da mancha de areia

Os materiais utilizados para este ensaio foram:

- Escova para limpeza da superfície;
- Areia peneirada passante na peneira 0,315mm e retida na peneira 0,160mm separada em volumes de 25cm³;
- Recipiente com volume 25cm³;
- Trena metálica para medição do diâmetro;
- Soquete com base circular de 64mm de diâmetro, revestida com borracha de 1,5mm de espessura;

Para obtenção da areia nas dimensões especificadas pela norma, foi necessário contar com o auxílio dos laboratoristas Amauri de Souza e Fabiano de Souza, que trabalham na Construtora e Incorporadora Berna Ltda.

O soquete supra citado foi obtido em marcenaria, e o revestimento de borracha em casa do ramo de materiais de borracha.

A Figura 5.11 mostra os materiais utilizados para o ensaio.



Figura 5.11: Materiais utilizados

Realização:

Foi feita a limpeza da superfície com uma escova, em seguida, foi colocada a areia no recipiente com medida 25cm³. Logo após esta areia foi colocada no pavimento com a ajuda de um funil. Posteriormente a areia foi espalhada fazendo-se círculos até o esgotamento da areia

com o soquete. Foram então tiradas quatro medidas do diâmetro de cada círculo, e foi considerado o diâmetro médio entre estas medidas. Este procedimento foi realizado três vezes em cada tipo de pavimento de cada via escolhida para o ensaio.

Resultados:

Os resultados encontrados, em centímetros, para a medida de cada mancha de areia, e a média geral para cada via estão representadas nas tabelas 5.7 e 5.8:

Tabela 5.7: Resultados do ensaio da mancha de areia

Classificação	Tipo de pavimento			
	Intertravado			
	Média 1 (cm)	Média 2 (cm)	Média 3 (cm)	Média geral (cm)
Arterial	27,0	27,8	27,0	27,3
Coletora	29,0	28,1	28,0	28,4
Local	30,0	30,0	31,0	30,3

Tabela 5.8: Resultados do ensaio da mancha de areia

Classificação	Tipo de pavimento			
	Betuminoso			
	Média 1 (cm)	Média 2 (cm)	Média 3 (cm)	Média geral (cm)
Arterial	22,7	23,3	22,3	22,8
Coletora	18,4	19,0	19,0	18,8
Local	20,4	21,0	21,7	21,0

A comparação dos resultados encontrados mostra que para todas as hierarquias das vias, o pavimento betuminoso apresentou maior desgaste em relação ao pavimento intertravado.

A correlação entre volume de areia utilizado no ensaio e área da mancha de areia encontrada permite calcular o resultado referente às alturas encontradas em mm, mostradas nas tabelas 5.9 e 5.10:

Tabela 5.9: Alturas encontradas para o ensaio da mancha de areia

Classificação	Tipo de pavimento			
	Intertravado			
	Média 1 (mm)	Média 2 (mm)	Média 3 (mm)	Média geral (mm)
Arterial	0,44	0,41	0,44	0,43
Coletora	0,38	0,40	0,41	0,40
Local	0,35	0,35	0,33	0,35

Tabela 5.10: Alturas encontradas para o ensaio da mancha de areia

Classificação	Tipo de pavimento			
	Betuminoso			
	Média 1 (mm)	Média 2 (mm)	Média 3 (mm)	Média geral (mm)
Arterial	0,62	0,59	0,64	0,61
Coletora	0,94	0,88	0,88	0,90
Local	0,77	0,72	0,68	0,72

Comparando-se este resultado com a tabela de Pasquet (pág.73), tem-se a classificação da textura do pavimento, representada na tabela 5.11:

Tabela 5.11: Classificação das vias analisadas em função da textura

Classificação	Tipo de pavimento	
	Intertravado	Betuminoso
	Textura	Textura
Arterial	Média	Média
Coletora	Média	Grossa
Local	Fina	Média

As texturas média e grossa encontram-se acima do necessário para via urbana, provavelmente por se tratar de vias mais movimentadas onde já houve desgaste do pavimento.

Em termos de segurança quanto a aderência, os pavimentos apresentaram indicadores satisfatórios.

ii. Ensaio de drenabilidade

Foi utilizado um drenômetro construído especificamente para este estudo, com a orientação do Dr. Edson Moura, professor responsável pelo Laboratório da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LTP/USP), baseado nas normas do Institute for Highway, Railroads and Rock Engineering (ISETH).

As figuras 5.12, 5.13 mostram respectivamente o drenômetro e a rolha utilizados.

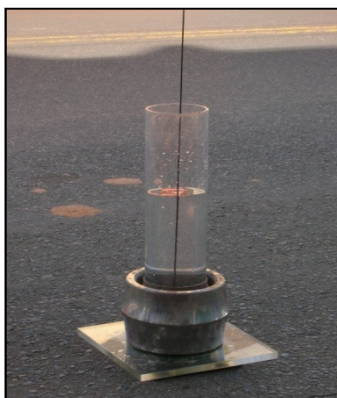


Figura 5.12: Drenômetro – perfil



Figura 5.13: Rolha de silicone

Realização:

O drenômetro foi posicionado na superfície pré-molhada, e enchido de água. A rolha foi retirada e foi medido o tempo que a água precisava para passar entre as duas medidas pré-fixadas através de um cronômetro.

Este procedimento foi realizado três vezes em cada tipo de pavimento de cada via escolhida para o ensaio, sendo uma vez para o bordo direito da pista, uma para o esquerdo e um para o centro.

Resultados:

Os resultados apresentados nas tabelas 5.12 e 5.13 para o ensaio de drenabilidade são relativos ao tempo de escoamento (segundos).

Tabela 5.12: Resultado do ensaio de drenabilidade

Classificação	Tipo de pavimento	
	Intertravado	
	Bordos(segundos)	Centro(segundos)
Arterial	4,30	8,25
Coletora	5,44	8,64
Local	6,24	5,90

Tabela 5.13: Resultado do ensaio de drenabilidade

Classificação	Tipo de pavimento	
	Betuminoso	
	Bordos(segundos)	Centro(segundos)
Arterial	3,61	9,56
Coletora	3,20	4,9
Local	3,50	4,0

O ensaio de drenabilidade sofre influência da inclinação e desgaste da via.

Um valor maior para o tempo de escoamento significa que a água escoar mais lentamente. Um tempo mais baixo significa que a água consegue escoar mais rápido pelo pavimento.

O tempo do escoamento do volume de água, medido com um cronômetro comum, representa uma medida de textura, pois são as características da macrotextura do revestimento que determinam a vazão de água.

A duração do escoamento será tanto maior quanto mais lisas forem as superfícies e ao contrário para superfícies mais ásperas.

Foram encontrados valores maiores no centro do que nos bordos das vias. Em relação à comparação entre os dois pavimentos, pode-se perceber que nos pavimentos com menos desgaste, o pavimento intertravado drena mais depressa, entretanto com um grande desgaste do pavimento, caso visto no pavimento betuminoso da via arterial, a situação se inverte nos bordos da pista.

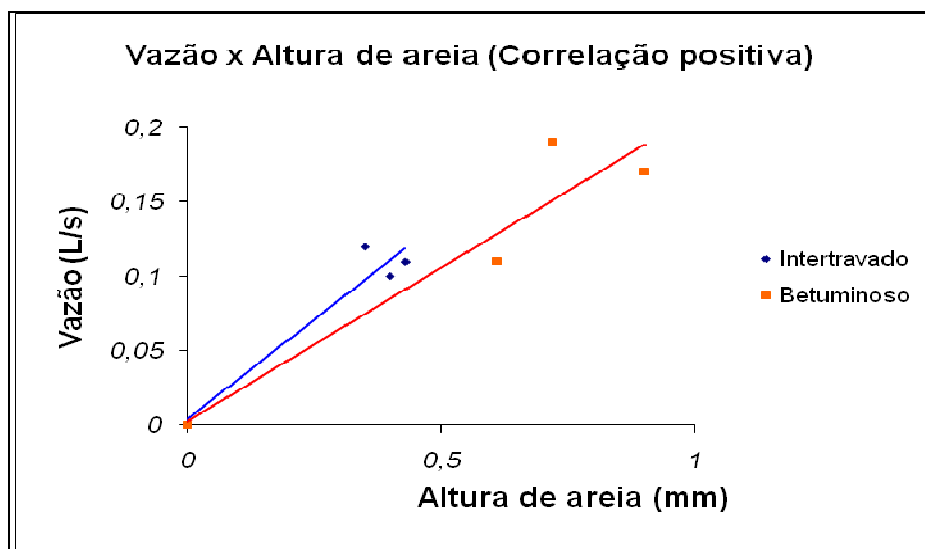
É importante lembrar que em todos os pavimentos intertravados analisados não havia areia de rejuntamento, fato que pode ter contribuído para a rapidez do escoamento da água.

Existem uma correlação entre o ensaio da mancha de areia e o de drenabilidade.

Os resultados desse ensaio confirmam a existência de uma correlação inversa entre a macrotextura medida pela altura de areia e o tempo de escoamento da água na superfície do pavimento.

O gráfico 5.2 permite a observação deste fato.

Gráfico 5.2: Vazão (l/s) x Altura de areia(mm)



iii. Levantamento Visual Contínuo

O ensaio foi realizado com o auxílio do técnico Amauri de Souza e do engenheiro civil Eduardo Carvalho, que percorreram as vias selecionadas para o estudo dentro de um veículo, com o objetivo de analisar a condição da superfície do pavimento através de exame visual e contínuo dos defeitos observados. Segundo a Instrução de projeto IP DE P00/003 do Departamento de Estradas de Rodagem e norma DNIT 008/2003 PRO.

Foram atribuídas aos pavimentos notas subjetivas que refletem a condição de conforto ao rolamento.

Foram avaliadas extensões de 100m em relação ao local de realização dos ensaios, identificando as ocorrências, a frequência e a severidade de cada tipo de defeito.

Os resultados indicam o Índice de Conforto do Pavimento calculado a partir da média dos índices de cada trecho.

Resultados:

Com exceção do trecho betuminoso da via coletora, que teve a classificação 2-3, que

significa ruim-regular, os outros trechos analisados obtiveram a classificação 3-4, que significa “regular-bom”.

O principal problema encontrado foi o desgaste superficial do pavimento. Foram observados ainda nos pavimentos com classificação 3 a existência de alguns pontos com a presença de irregularidades longitudinais ou transversais, e o trecho com a classificação 2-3 apresentou um pavimento betuminoso com danos em grande parte de sua extensão, principalmente trincas.

A Tabela 5.14 mostra os resultados do ensaio.

Tabela 5.14: Resultados do Levantamento Visual Contínuo

Classificação	Tipo de pavimento	
	Trechos	
	Intertravado	Betuminoso
Arterial	4	4
Coletora	3	2-3
Local	3	3

5.4.3 Aspectos Ambientais

i. Decibelímetro

Foi utilizado um decibelímetro tipo TES 1350 A, cedido pelo engenheiro civil e professor da Universidade Estadual de Minas Gerais campus Passos Prof. Sandoval Soares Silveira.



Figura 5.14: decibelímetro tipo TES 1350

Realização:

Foi realizada a medição dia 07 de setembro de 2009, dia que corresponde à um feriado nacional, com o objetivo de obter o mínimo possível de ruído de fundo e conseguir isolar mais adequadamente o ruído do pavimento. O horário realizado foi das 17 às 18 horas.

Foram escolhidos dois automóveis para os testes: um veículo Civic ano 2009, marca Honda semi-novo, com 5.200 quilômetros rodados, pneus novos, motor silencioso e um veículo Gol Power 1.6 ano 2008, marca Volkswagen, com 65.430 quilômetros rodados, pneus conservados, motor conservado.

As fotos 5.15 e 5.16 mostram, respectivamente, os veículos utilizados.



Figura 5.15: Volkswagen Gol



Figura 5.16: Honda Civic

O decibelímetro foi colocado na escala de medição de ruído mais baixa, de 35DB a 100DB.

Foram colocados três pontos para cada tipo de pavimento, de 50 em 50 metros, e foi medido o ruído ao passar pelo ponto central entre os 50 metros a 30Km/h e a 45Km/h.

Este procedimento foi repetido para cada via.

Foram também medidos no mesmo dia, o ruído de cada veículo em marcha-lenta, e após a realização das medições descritas acima, a passagem de 30 veículos pela via coletora-arterial, no encontro dos dois tipos de pavimento, com o objetivo de medir o ruído da passagem natural do tráfego.

Resultados:

O resultado da medição por decibelímetro, em dB (A), está representado na tabela 5.15:

Tabela 5.15: Resultado da medição por decibelímetro

	Tipo de pavimento								Ruídos (decibéis)		
	Intertravado (decibéis)				Betuminoso (decibéis)				RF	RF + ruído motor Civic	RF + ruído motor Gol
	Civic*	Civic*	Gol*	Gol**	Civic*	Civic*	Gol*	Gol**			
Arterial	66,0	68,0	72,0	73,8	65,0	67,0	70,0	71,5	50,0	60,0	67,0
Coletora	59,0	61,0	63,0	66,0	57,0	59,0	62,0	64,0	45,0	55,0	61,0
Local	54,0	57,0	57,0	61,0	51,0	54,0	56,0	58,0	39,0	49,0	55,0
*30Km/h											
**45Km/h											
RF= Ruído de fundo											

A medição do ruído é resultado de quatro parcelas: ruído de fundo, ruído do motor, ruído do pavimento e ruído aleatório (deslocamento de ar referente à passagem pelo carro).

A parcela de som correspondente à reverberação do som não foi levada em consideração porque os ambientes escolhidos não apresentavam obstáculos nem anteparos.

A maior parcela da medição corresponde ao ruído de fundo, seguida pela parcela do ruído do motor, e por fim, o ruído do pavimento apresenta uma parcela que pode variar de 1 a 10% da medição.

Assim, o ruído de um carro passando pelo pavimento representa a menor parcela.

Quanto à comparação do ruído entre os pavimentos intertravados e betuminosos, tem-se que há uma diferença de valores significativa. Em geral o ruído proveniente do pavimento intertravado é 41,75% maior que o proveniente do CBUQ na velocidade 30Km/h e 33,49% maior na velocidade de 45Km/h, considerando as médias encontradas para os dois tipos de veículos utilizados para os testes.

Estes números vão variar de acordo com o desgaste do pavimento.

Para o benefício da população urbana de uma pequena ou média cidade, é mais eficaz a diminuição dos ruídos provenientes dos carros, do que a preocupação com o ruído proveniente do tipo de pavimento a ser implantado.

A medição do tráfego na via arterial resultou em: motos e ônibus provocaram ruídos na faixa de 75 a 85DB (A), caminhões tipo caçamba na faixa de 75 a 80DB (A), e carros na faixa de 65 a 75DB (A). Foi notado que o ítem mais significativo nestas medições foi o estado de conservação do veículo e o tipo de funcionamento do escapamento. A parcela do ruído relativa ao pavimento é pequena.

ii. Ensaio para medição de Temperatura

Para medir a temperatura foi necessário a utilização de um termômetro tipo TGD – 50, da Instrutherm, que mede a temperatura de 0 a 150 °C, cedido pela engenheira civil, especializada em segurança do trabalho, e consultora nesta área, na cidade de Passos, Dra. Suzana Garrido.

Este tipo de termômetro apresenta a leitura da temperatura de três maneiras: temperatura no bulbo úmido natural (tbn), temperatura de globo (tg) e temperatura de bulbo seco (tbs). Ele permite assim, calcular o índice IBUTG, que é o índice de bulbo úmido-termômetro do globo, e que é utilizado para avaliação da exposição ao calor.

O cálculo de IBUTG é feito pelas seguintes equações:

$IBUTG = 0,7 \text{ tbn} + 0,3 \text{ tg}$, para ambientes internos ou externos sem carga solar

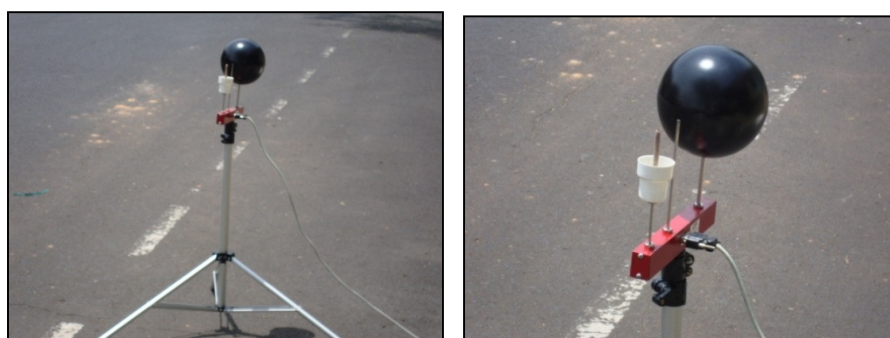
$IBUTG = 0,7 \text{ tbn} + 0,1 \text{ tbs} + 0,2 \text{ tg}$, para ambientes externos com carga solar

É também relevante colocar o aparelho o mais próximo possível da superfície para melhor captação da temperatura do pavimento.

As figuras 5.17, 5.18, e 5.19, mostram o termômetro e sua montagem para medição da temperatura.



Figura 5.17: Leitor de temperatura



Figuras 5.18 e 5.19: Termômetro com bulbos úmido, seco e normal sobre o tripé

Realização:

O ensaio foi iniciado às 11:30 da manhã. Em cada ponto de medição, que foram dois por via, sendo um em cada tipo de pavimento (intertravado e betuminoso), foi montado o aparelho de medição. O bulbo úmido foi molhado com água destilada. Após 30 minutos de exposição do termômetro foi realizada cada leitura.

Resultados:

As tabelas 5.16 e 5.17 mostram os resultados da medição.

Tabela 5.16: Resultado da medição por termômetro

Classificação	Tipo de pavimento			
	Intertravado			
	Tbn	Tg	Tbs	IBUTG
Arterial	22,3	41,2	32,3	27,08
Coletora	24,0	45,3	32,0	29,06
Local	24,1	51,4	35,0	30,65

Tabela 5.17: Resultado da medição por termômetro

Classificação	Tipo de pavimento			
	Betuminoso (CBUQ)			
	Tbn	Tg	Tbs	IBUTG
Arterial	23,8	43,9	34,3	28,87
Coletora	24,3	49,7	33,6	30,31
Local	24,4	54,4	36,4	31,6

Em relação à medição da temperatura, obteve-se uma diferença média de 1,5°C de aumento de temperatura do pavimento betuminoso para o pavimento intertravado.

5.5 Resumo dos resultados obtidos

Tabela 5.18: Resumo dos resultados no estudo de caso

PAVIMENTOS			
		INTERTRAVADO	ASFALTO
ECONOMIA	Construção	Custos iniciais maiores	Custos iniciais menores
	Conservação e Recuperação	Custos mais baixos em longo prazo	Custos mais baixos em curto prazo, porém aumento relevante dos custos a longo prazo.
	Operacionais	Sem vantagens expressivas	Sem vantagens expressivas
TRAFEGABILIDADE	Aderência	Resultados satisfatórios para a segurança de rolagem no pavimento.	Resultados satisfatórios para a segurança de rolagem, mas com maior desgaste do pavimento.
	Vibração	Resultados satisfatórios para o conforto de rolagem no pavimento.	Resultados satisfatórios para o conforto de rolagem, também apresentando maior desgaste do pavimento.
AMBIENTAIS	Danos provenientes da aplicação do pavimento	O ruído causado no ambiente pelos pavimentos intertravados é um pouco maior que o dos pavimentos betuminosos	O ruído causado no ambiente é um pouco menor que o dos pavimentos intertravados, porém não é um critério decisivo para uso geral. Pode ter seu uso mais relevante em casos específicos.
		A temperatura do ambiente próxima destes pavimentos é um pouco menor nos pavimentos intertravados;	A temperatura do ambiente próxima dos pavimentos betuminosos é um pouco maior; em torno de 5% a mais em relação aos pavimentos intertravados

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas considerações finais importantes obtidas da releitura do trabalho referente a avaliação da adequabilidade do uso de pavimentos flexíveis e intertravados em cidades de pequenos e médio porte considerando os fatores relacionados aos aspectos econômicos, ambientais e de trafegabilidade.

A partir das informações coletadas durante o desenvolvimento da pesquisa e da análise dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia em um estudo de caso realizado na cidade de Passos, MG, pode-se inferir que:

- I. A revisão bibliográfica sobre o tema permitiu relacionar, em tabelas comparativas, um conjunto extenso de variáveis que podem ser usadas na definição dos aspectos: econômico, de trafegabilidade e ambiental quando pretender-se realizar uma análise comparativa entre os pavimentos flexíveis e intertravados;
- II. Os aspectos: econômicos, ambientais e de trafegabilidade - relacionados, neste trabalho, como indicadores para caracterizar os pavimentos urbanos mostraram-se adequados, quando usados como parâmetros de comparação entre os dois tipos de pavimentos visando à aplicação do conceito de planejamento urbano – ambiental em cidades de pequeno e médio porte;
- III. A avaliação econômica, feita através dos custos relacionados aos dois tipos de pavimentos estudados mostra que o pavimento betuminoso, a curto prazo, é vantajoso para as vias locais e coletoras, pois, devido à incidência de um fluxo de veículos de baixa e média intensidade, é possível dimensionar um pavimento com estrutura de espessura delgada, enquanto que a via arterial, com fluxo de veículos de intensidade maior, exige um pavimento com um perfil mais espesso. Essa característica faz com que o custo de construção do pavimento intertravado só se aproxime do pavimento flexível na via de classificação hierárquica arterial, mesmo que, neste tipo de pavimento não tenha sido considerado nenhum custo de manutenção e recuperação durante sua vida útil. A longo prazo, em média, 10 anos, os custos de manutenção para o pavimento betuminoso começam a ultrapassar os custos iniciais do pavimento intertravado;
- IV. A avaliação do aspecto de trafegabilidade dos pavimentos, segundo o conceito de aderência (segurança), tanto através do ensaio da mancha de areia como do ensaio da drenabilidade, mostra que o pavimento de revestimento betuminoso, na via coletora,

apresenta textura mais áspera em relação à mesma via de pavimento intertravado, indicando um grau de deterioração maior e confirmando a necessidade da existência de um processo de intervenção para manutenção e recuperação. Apesar desta diferenciação, os pavimentos apresentaram indicadores satisfatórios, quanto a segurança (aderência) durante a circulação de veículos;

- V. Os resultados da avaliação de trafegabilidade, segundo o conceito de conforto, mostram que a via coletora de revestimento betuminoso apresenta uma superfície com maior irregularidade, produzindo assim uma vibração maior para os ocupantes do veículo, em relação às outras vias de revestimento betuminoso e a todas as vias de pavimento intertravado. Isso pode ser um fator a mais que confirma a maior durabilidade do pavimento intertravado e a hipótese deste tipo de pavimento não necessitar de intervenções para manutenção e reparos, durante um longo período;
- VI. Quanto aos aspectos ambientais, medidos através dos indicadores de ruído e temperatura pode-se constatar que as diferenças entre os tipos de pavimentos são insignificantes, ou seja menores que 5%. O ruído causado no ambiente pelos pavimentos intertravados é um pouco maior que o dos pavimentos betuminosos e a temperatura medida do ambiente destes pavimentos é um pouco menor nos pavimentos intertravados;
- VII. A vantagem expressiva de um tipo de pavimento sobre o outro não foi demonstrada durante o desenvolvimento desta pesquisa. O que vale a pena salientar é que, segundo a revisão bibliográfica realizada, se considerarmos somente os aspectos ambientais, os pavimentos intertravados oferecem vantagens em termos de drenagem superficial (retenção de água por mais tempo), difunde melhor a luz solar e melhora a condição de visibilidade noturna.

A principal dificuldade para a realização deste estudo foi o levantamento do histórico dos pavimentos, no estudo de caso, e a falta de procedimentos de avaliação e análise específicos para pavimentos intertravados. O conhecimento destas informações seria muito útil desenvolvimento da pesquisa e permitiria outros tipos de análises.

Como recomendações para futuros trabalhos sugerimos: (1) que sejam considerados novos fatores, para a avaliação destes pavimentos, utilizando para isso informações constantes na Tabela 3.8 e (2) que a legislação ambiental seja um fator preponderante na análise destes tipos de pavimentos, sobretudo nos aspectos de produção dos materiais (cimento e betume); impacto da aplicação destes materiais no subleito das vias (contaminação do solo e lençol

freático) e a possibilidade do uso de materiais alternativos na composição das camadas destes pavimentos.

REFERÊNCIAS:

ALBANO, J. F. Hierarquia e classificação funcional de vias rurais e urbanas. In: ALBANO, J. F. **Tópicos avançados em vias rurais e urbanas**. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/494_05-hierarquia_e_classificacao_viaria.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2008.

AMARANTE, F.G. et al. **Fresagem fina como medida de melhoramento da segurança da rodovia Presidente Dutra no trecho da Serra das Araras**. In: 36ª Reunião Anual de Pavimentação, 2005, **Anais eletrônico...** Curitiba: RAPv, 2005. Disponível em: <<http://www.fresar.com.br/cin/ABPV%20Fres.Fina.PDF>>. Acesso em: 05 jun. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-965-96**. Standard test method for measuring macro texture depth using a volumetric technique. West Conshohocken: ASTM, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-303-93**. Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester. In: ANNUAL Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM, 2008.5p.

APS, M. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI - Internacional Friction Index para revestimentos asfálticos**. 2006.179 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-11122006-144825/publico/TeseMarciaApscomerrata.pdf>> Acesso em: 04 jun. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual técnico para implementação da habitação 1.0: bairro saudável, população saudável**. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: peças de concreto para pavimentação – Especificação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9780**: peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151**: avaliação de ruído em áreas habitadas. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.152**: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 2000.

BAETA, Z. Cresce o número de normas locais. **Valor Econômico**, São Paulo, 16 jan. 2007. Legislação & Tributos, E1, p1.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. et. al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras; Abeda, 2008.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes. **Research on the interrelationships between costs of highway construction, maintenance and utilization (PICR)**: Final report. Brasília: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – GEIPOT, 1982. v. 12.

BRASIL. Previdência Social. **Norma regulamentadora de segurança e saúde no trabalho NR 15**. 1990. Disponível em: <<http://www3.dataprev.gov.br/SISLEX/paginas/05/MTB/15.htm>>. Acesso em: 11 ago.2010.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 258**, de 26 agosto de 1999. Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequadas aos pneus inservíveis. 1999. Disponível em: <http://www.mp.ba.gov.br/atuacao/ceama/material/legislacoes/residuos/resolucao_CONAMA_258_1999.pdf>. Acesso em: 11 ago.2010.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 301**, de 21 de março de 2002. Altera a Resolução no 258/99 (acrescenta considerandos, altera os arts. 1o, 2o, 3o, 11 e 12, e acrescenta o art. 12-A). Disponível em: <http://www.mp.ba.gov.br/atuacao/ceama/material/legislacoes/residuos/resolucao_CONAMA_301_2002.pdf>. Acesso em: 11 ago.2010.

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000. Altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 dez.2000.

BRASIL. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação normativa **COPAM 74/2004**. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5532>>. Acesso em 07 jan.2010.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Norma DNER-ME 133/94**: misturas betuminosas – determinação do módulo de resiliência. Rio de Janeiro, 1994a. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME133-94.pdf> >. Acesso em: 12 maio 2010.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Norma DNIT 182/94**: medição da irregularidade da superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter. Rio de Janeiro, 1994b. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-PRO182-94.pdf> >. Acesso em: 20 mar. 2009.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Coletânea de normas**. Rio de Janeiro, 2003a.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes **Norma DNIT 008/2003**: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Rio de Janeiro, 2003b. Disponível em: < http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT008_2003_PRO.pdf >. Acesso em: 20 mar. 2009.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Norma DNIT 005/2003**: defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Rio de Janeiro, 2003c. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT005_2003_TER.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2009.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Norma DNIT 006/2003**: avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: Procedimento. Rio de Janeiro, 2003d. Disponível em: < http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT006_2003_PRO.pdf >. Acesso em: 30 mar.2010.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária**. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006a.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Manual de restauração dos pavimentos**. Rio de Janeiro, 2006b.

BRASIL. Ministério do Transporte. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Sistema de Gerência de Pavimentos. **Resultados dos levantamentos de campo da malha Rodoviária Federal**. Disponível em: <<https://gestao.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/planejamento-rodoviario/relatorio-sgp-2008-2010-dir.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2010

BRUNI, N. **Via Áppia Roma**. Disponível em: < [http://www.webalice.it/nbruni1/Roma%20-%20Via%20Appia%20Antica%20\(7\).jpg](http://www.webalice.it/nbruni1/Roma%20-%20Via%20Appia%20Antica%20(7).jpg) >. Acesso em: 06 jun. 2010.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. 220 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC/USP, São Carlos, 2003.

CALLAI, S.; SPECHT, L. P. Análise de ruído pneu pavimento, em rodovias revestidas em TSD e CBUQ na Região de Ijuí. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA, 11., 2006, Ijuí, **Anais eletrônicos...**, Ijuí: ABENGE, 2006. Disponível em: <<http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2006/CRICTE%202006/trabalhos/441440-egc-01-09-82559.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2010.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento intertravado de concreto**: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. 2003. 281 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CURY, M. V. Q. **Análise sócio-econômica e ambiental para o uso de asfalto emborrachado na construção de rodovias**. Rio de Janeiro: IME, 2001, Dissertação (Mestrado em Transporte) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2001.

DANTAS, T. N. C. et al. **Reciclagem de material asfáltico fresado com a utilização de solventes e microemulsões**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS., 4. 2007, **Anais eletrônico...** Campinas: ABPG, 2007. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_6_2_0194-1.pdf>. Acesso em 12 maio 2010.

ENCONTRO NACIONAL DE OBRAS PÚBLICAS, 1., 2007. Salvador. **Anais...** Salvador: Instituto de Engenharia, 2007.

FOLHA DE SÃO PAULO On Line. **Empresa holandesa usa calor do asfalto para gerar energia.**, 01 jan. 2008. Disponível em: < <http://www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u359462.shtml>. Acesso em: 01 fev. 2010.

GAGGINI, L.; FORTES, R. M. **Estudo da aderência pneu-pavimento para diferentes tipos de textura de pavimentos em pistas de kartódromos.** In: CONGRESSO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - CONINFRA, 2008. São Paulo. **Anais...** São Paulo, ANDIT, 2008. Disponível em: < <http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/publicacoes/02-043.pdf> > . Acesso em: 04 jun. 2010.

GIULIO, G. D. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto.** *Jornal Inovação, Uniemp. Campinas*, v. 3, n. 3, maio/jun., 2007. Disponível em: <http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942007000300008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 30 mar. 2010.

GOOGLE MAPS. **Passos - MG.** c2010. 1 mapa, color. Escala: 500 km: 200 mi. Disponível em: < http://maps.google.com.br/maps?f=q&source=s_q&hl=pt-BR&geocode=&q=Passos+-+Minas+Gerais&sll=-20.724649,-46.608467&sspn=0.079795,0.154324&ie=UTF8&hq=&hnear=Passos+-+Minas+Gerais&ll=-19.642588,-42.890625&spn=20.476527,39.506836&z=5 >. Acesso em: 05 jun.2010.

GRECO, J.A.S. **Dimensionamento de pavimentos flexíveis:** método empírico do DNIT. Disponível em: < <http://etg.ufmg.br/~jisela/pagina/dimensionamento%20pav%20flexiveis.pdf> > Acesso em: 12 maio 2010.

GUIA DO TRANSPORTADOR. **Planilhas de custo operacional.** Disponível em: <http://www.guiadotrc.com.br/truckinfo/gestao_open.asp>. Acesso em: 31 jul. 2010.

HALLACK, A. Dimensionamento de pavimentos com blocos pré-moldados de concreto. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 24., Belém, 1990. **Anais...** Belém: ABCP, 1990.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Asfaltos de estradas e ruas será usado para gerar energia.** 14 ago. 2008. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=asfalto-de-estradas-e-ruas-sera-usado-para-gerar-energia-solar>>. Acesso em: 01 fev. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Países**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/paisesat/>>. Acesso em: 06 ago. 2008.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MASCARO, J. L. **Custos de infra-estrutura: um ponto de partida para o desenho econômico urbano**. 1979. 273 f. Tese (Livre Docência) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

MESQUITA, J.C.L. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária**. 2001. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MINAS GERAIS. Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental do Estado de Minas Gerais (TFAMG). **DECRETO N° 44.045**, de 13 de junho de 2005. Regulamenta a Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental do Estado de Minas Gerais (TFAMG), instituída pela Lei n° 14.940, de 29 de dezembro de 2003. Disponível em: <http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/decretos/d44045_2005.htm>. Acesso em: 06 jun. 2010.

MÜLLER, R. M. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto**. 2005. 256 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 2002. 211 p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2002.

ORIGINAL BLOCOS. **Pavimento intertravado**. Disponível em: <http://www.originalblocos.com.br/pag_suporte_info_pav.asp>. Acesso em: 15 mar. 2009.

PAIVA, C.E.L.; PEDRAZZI, T.B. **Comparação econômica entre procedimentos construtivos de manutenção rodoviária**. In: V Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias. Recife, 2006.

PASQUET, A. **Campagne nationale de glissance 1967 em France**. In: COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA GLISSANCE ET LA SÉCURITÉ DE LA CIRCULATION SUR ROUTES MOUILLÉES. **Anais...** Berlin: [s.n.]. 1968. p.717-732.

PATERSON, W. D. O. **Road deterioration and maintenance effects**: models for planning and management. Washington, c1987. (The Highway Design and Maintenance Standards Series) Disponível em: < http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/1987/12/01/000009265_3971113151012/Rendered/PDF/multi_page.pdf >. Acesso em: mar. 2009.

RECICLANIP. **Principais destinações**. c2007. Disponível em: <http://www.reciclanip.com.br/?cont=formas_de_destinacao_principaisdestinacoes>. Acesso em: 30 mar 2010.

REVISTA COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Pavimentos intertravados**. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br>>. Acesso em: 11 jun. 2008.

ROAD ENERGY SYSTEMS. **Energy from asphalt**: for heating and cooling buildings and roads. 2004. Disponível em: < [http://www.roadenergysystems.nl/pdf/RES%20\(E\).pdf](http://www.roadenergysystems.nl/pdf/RES%20(E).pdf) >. Acesso em: 06 jun. 2010

SÃO PAULO (Município). **LEI MUNICIPAL n 14.015**, de 28 de junho de 2005. Dispõe sobre o descarte e reciclagem de misturas asfálticas retiradas dos pavimentos urbanos municipais e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.oabsp.org.br/asp/clipping_jur/ClippingJurDetalhe.asp?id_noticias=16947&AnoMes=20056>. Acesso em: 18 nov. 2007.

SÃO PAULO (Município). Prefeitura Municipal de São Paulo. **IP 02**: Classificação das vias. [2002a] Diretrizes para a classificação de vias em função do tráfego, da geometria e do uso do solo do entorno de vias urbanas da Prefeitura do Município de São Paulo. Disponível em: <http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/infraestruturaurbana/normas_tecnicas_de_pavimentacao/ip02.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2009.

SÃO PAULO (Município). Prefeitura Municipal de São Paulo. **IP 06**: Instruções para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto. [2002b]. Disponível em: <http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/infraestruturaurbana/normas_tecnicas_de_pavimentacao/ip06.pdf>. Acesso em 02 mar. 2009.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria dos Transportes. Departamento de Estradas de Rodagem. **Avaliação estrutural e funcional do pavimento**: instrução de projeto IP DE P00/003. São Paulo, 2006a.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Norma DER/SP ET DE P00-048/2006**: pavimento com peças pré-moldadas de concreto. Especificação técnica. São Paulo, 2006b. Disponível em: <http://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-048_A.pdf > Acesso em: 20 ago.2010.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria dos Transportes. Departamento de Estradas de Rodagem. **Tabela de Preços Unitários**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br>>. Acesso em: 11 ago.2010.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini 2007. 2v.

SEVERI, A. A et al. **Verificação à fadiga de revestimentos asfálticos e bases cimentadas**. Programa Pavimentos Asfálticos v. 1.0. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.ptr.usp.br/lmp/download/DER.PDF>>. Acesso em 12-05-2010.

SIMIÉLI, D. et al. Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados. **Exata**, São Paulo, v.5, n.2, p.231-241, 2007.

SOUZA, M. L. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: DNER/ Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1981.

SOUZA, M. L. Dimensionamento de pavimento: método do DNER. In: ANDRADE, M. H. F. **Notas de aula de Transportes B: pavimentação**. 2007. Disponível em: <<http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/mod9MetodoDNER.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2010