

REVISTA

ABPV

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

ANO XII • Nº 45 • JUL - SET • 2017 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809 - 1865

**USO DE MODELAGEM DINÂMICA DE
SISTEMAS CONECTADA A UM SIG PARA A
GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS**

**Simone Becker Lopes
Amanda Oliveira Justino Eller
José Leomar Fernandes Júnior**

EXPEDIENTE



REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano XII • Nº 45 - Jul - Set 2017

ISSN 1809 - 1865

Rua Miguel Couto, 105 • Sobrelajeas 204 e 205
CEP 20070-030 • Rio de Janeiro • RJ
Tel • (21) 2233-2020 | 2263-5794 Fax • (21) 2233-0709

CONSELHO EDITORIAL

Diretoria da ABPv

Georgina Libório Azevedo georgina@abpv.org.br MTb 31365-RJ	JORNALISTA RESPONSÁVEL Jean Pierre M. Santiago jpierrems@abpv.org.br MTb 27170-RJ
--	---

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

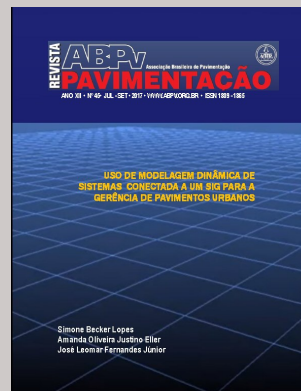
Presidente • Eng. Eduardo Alberto Ricci
Vice-Presidente • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa
Diretor Financeiro • Eng. Leonardo Santana Cavalcanti
Diretor Administrativo • Eng. Fernando Augusto Junior
Diretora Técnica • Prof. Michéle Dal Toé Casagrande
Diretor de Divulgação • Prof. Luiz Miguel de Miranda

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Eng. Alfredo Monteiro de Castro Neto • Eng. Antônio Fortunato Marcon • Eng. Armando Morilha Junior • Eng. Atahualpa Schmitz da S. Prego • Eng. Carlos Yukio Suzuki • Eng. Cassio Eduardo Lima de Paiva • Eng. Consuelo Alves da Frota • Eng. Cristiano da Costa Moreira • Eng. Djalma Rocha A. M. Pereira • Eng. Douglas Fadul Willibor • Eng. Edinaldo Afonso Marques de Mélo • Eng. Eduardo Alberto Ricci • Eng. Fernando Augusto Jr. • Eng. Genésio Almeida da Silva • Arqt. Gilda Collet Bruna • Eng. Glicério Trichês • Eng. Heitor Roberto Giampaglia • Eng. Jacques de Medina • Eng. João Vicente Falabella Fabrício • Eng. João Virgílio Merighi • Eng. Jorge Augusto Pereira Ceratti • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa • Eng. José Leomar Fernandes Junior • Eng. José Tadeu Balbo • Eng. José Vidal Nardi • Eng. Laura M^a Goretta da Motta • Eng. Leni F. M. Leite • Eng. Leto Momm • Eng. Liedi Legi B. Bernucci • Eng. Luciana Nogueira Dantas • Eng. Luiz Miguel de Miranda • Eng. Marcello Roberto Rangel Pestana • Eng. Márcio Muniz de Farias • Eng. Marcílio Augusto Neves • Eng. Maria da Conceição M. Azevedo • Eng. Michéle Dal Toé Casagrande • Eng. Nilton de Souza Campelo • Eng. Paulo Romeu Assunção Gontijo • Eng. Prepredigna D. E. Almeida da Silva • Eng. Rita Moura Fortes • Eng. Rui José da Silva Nabais • Eng. Silvio Rodrigues Filho • Eng. Saul Birman • Eng. Valmir Bonfim • Eng. Walter Canales Sant'ana • Eng. Washington Pérez Nuñez.

Periodicidade • Trimestral

NOSSA CAPA



Envie sua foto para: abpv@abpv.org.br

SUMÁRIO

EDITORIAL 3

ARTIGO 1

USO DE MODELAGEM DINÂMICA DE SISTEMAS CONECTADA A UM SIG PARA A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS. 4

Simone Becker Lopes
Amanda Oliveira Justino Eller
José Leomar Fernandes Júnior

ARTIGO 2

WHITETOPPING Tipos, Métodos e Utilização . . . 20

Gabriela Rebeca de Almeida
Lívia de Assis Costa Perroud
Dalter Pacheco Godinho

ARTIGO 3

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETO ASFÁLTICO COM INSERÇÃO DE FLAKES DE PET . . . 36

Mieka Arao
Michéle Dal Toé Casagrande
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães

EDITORIAL

A Associação Brasileira de Pavimentação apresenta nesta edição três artigos técnicos, sendo eles:

- **Uso de Modelagem Dinâmica de Sistemas Conectada a um SIG para a Gerência de Pavimentos Urbanos**, dos autores: Simone Becker Lopes da Universidade Federal de Santa Catarina, Amanda Oliveira Justino Eller, José Leomar Fernandes Júnior ambos da Universidade de São Paulo- São Carlos. Neste trabalho, aplica-se a modelagem dinâmica, com uso do programa Vensim, a um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SPGU), em estudo de caso realizado com dados de cidade brasileira de médio porte. O método desenvolvido aprimora o processo de tomada de decisão por parte dos profissionais responsáveis pela manutenção e reabilitação dos pavimentos, permitindo, também, a compatibilização com o planejamento de intervenções em outras infraestruturas urbanas (água, esgoto, energia elétrica, gás, telefonia etc.), o que pode resultar em significativa redução do custo total para a sociedade;
- **Whitetopping - Tipos, Métodos e Utilização**, dos autores: Gabriela Rebeca de Almeida, Livia de Assis Costa Perroud e Dalter Pacheco Godinho todos do Instituto Metodista Izabela Hendrix O artigo visa a divulgação da tecnologia *Whitetopping*, ainda pouco utilizada no Brasil. O sistema consiste na colocação de uma camada do concreto de cimento Portland (pavimento rígido de concreto), sobreposto ao pavimento flexível existente, sendo que este poderá ou não estar em avançado estado de degradação;
- **Comportamento Mecânico de Concreto Asfáltico com Inserção de Flakes de Pet**, dos autores Mieka Arao, Michéle Dal Toé Casagrande ambas da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e Antônio Carlos Rodrigues Guimarães, do Instituto Militar de Engenharia . O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica da inserção de PET reciclado e triturado no concreto asfáltico e apresenta a utilização de garrafas PET triturada como uma opção viável tecnicamente e ambientalmente..

O envio de artigos, notas técnicas e temas para o Caderno de Tecnologia são aguardados para avaliação e possível publicação.

A Revista Pavimentação é um instrumento disseminador de informações concernentes ao desenvolvimento do nosso país. Participe!

Conselho Editorial



USO DE MODELAGEM DINÂMICA DE SISTEMAS CONECTADA A UM SIG PARA A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS

Simone Becker Lopes¹
Amanda Oliveira Justino Eller²
José Leomar Fernandes Júnior³

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Engenharia da Mobilidade

^{2 e 3} Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Neste trabalho, aplica-se a modelagem dinâmica, com uso do programa Vensim, a um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SPGU), em estudo de caso realizado com dados de cidade brasileira de médio porte. O método desenvolvido aprimora o processo de tomada de decisão por parte dos profissionais responsáveis pela manutenção e reabilitação dos pavimentos, permitindo, também, a compatibilização com o planejamento de intervenções em outras infraestruturas urbanas (água, esgoto, energia elétrica, gás, telefonia etc.), o que pode resultar em significativa redução do custo total para a sociedade. Todas as vias foram avaliadas e foi feito um diagnóstico de cada tipo de defeito encontrado, avaliando-se a extensão e o nível de severidade. Os dados foram inseridos em um banco de dados vinculado a um SIG, facilitando o acesso às informações e a visualização dos problemas. O Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos Dinâmico (SGPUD) constitui um exemplo de processo sinérgico, com transferência de tecnologia para a sociedade, que une o poder público (prefeituras), a universidade e a iniciativa privada, representada pelas empresas prestadoras de serviços na área de infraestrutura urbana, evidenciando os benefícios ao município decorrentes de informações e análises com sólida base técnica.

PALAVRAS CHAVE: pavimentos urbanos; sistemas de gerência; modelagem dinâmica; SIG

ABSTRACT

In this work, the dynamic modeling, using the Vensim program, is applied to an Urban Pavement Management System (SPGU), in a case study conducted with data from a medium-sized Brazilian city. The developed method improves the process of decision making by the professionals responsible for the maintenance and rehabilitation of pavements, allowing also the compatibility with the planning of interventions in other urban infrastructures (water, sewage, electricity, gas, telephony etc.), which can result in a significant reduction of the total cost to society. All links were evaluated and a diagnosis was made for each distress type, assessing the extent and level of severity. The data were inserted in a database linked to a GIS, facilitating the access to the information and the visualization of the problems. The Dynamic Urban Pavement Management System (SGPUD) is an example of a synergistic process, with technology transfer to society, linking public power (prefectures), university and private enterprise, represented by companies providing services in the area of urban infrastructure, evidencing the benefits to the municipality resulting from information and analyzes with a solid technical basis.

KEY WORDS: urban pavments; management systems; dynamic modeling; GIS

1. INTRODUÇÃO

É inquestionável a importância da utilização de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) para se ter um melhor desempenho e a devida alocação de recursos nas atividades de manutenção e reabilitação (ZANCHETTA, 2017). Igualmente inquestionável é que também os SGP devem ser continuamente aprimorados, incorporando novas e melhores ferramentas.

No âmbito das cidades brasileiras de médio e grande porte, nas quais os Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU) poderiam contribuir para a otimização das atividades de manutenção e reabilitação (M&R) dos pavimentos, ainda tem prevalecido a tomada de decisão de forma aleatória, com base apenas na experiência de alguns profissionais e em decisões políticas, o que tem levado a uma situação de desperdício dos já escassos recursos financeiros, equipamentos e mão de obra.

A falha gerencial envolve a falta de um diagnóstico da condição dos pavimentos, a partir do qual poderiam ser sugeridas estratégias de intervenções, do “nada a fazer” até a “reconstrução”, passando pelas “manutenções corretiva e preventiva” e pelo “reforço estrutural”, restringindo-se, atualmente, aos reparos de segmentos com necessidades extremas, selecionados com base em reclamação da população, alertas da mídia ou vontade política.

Este trabalho procura contribuir para o desenvolvimento de sistemas de gerência de pavimentos urbanos para cidades de médio e grande porte, com uso de modelagem dinâmica de sistemas, que consiste em estabelecer interações em que a mudança em uma variável afeta outras variáveis, que por sua vez voltam a afetar a variável inicial. O resultado final contempla a definição das estratégias de intervenção para cada segmento, a previsão do custo total das intervenções, a priorização dos segmentos e o ano indicado para a realização das atividades, de acordo com o orçamento anual disponível.

Uma contribuição complementar deste trabalho se dá através do uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o qual é possível gerar mapas temáticos, em que as informações fornecidas pelo modelo de simulação dinâmica são apresentadas de forma visual, o que pode facilitar a análise por parte da equipe responsável pela tomada de decisão quanto às atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos.

2. SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS DINÂMICO

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), segundo Haas et al. (1994), consiste na coordenação das atividades de planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos, com o objetivo de utilizar informações confiáveis para obter o máximo retorno com os recursos disponíveis.

Quando se trabalha em nível de rede, como é o caso deste estudo, utilizam-se informações abrangendo toda a malha viária, procurando-se tomar decisões relacionadas ao planejamento e programação das intervenções. São definidos os segmentos da malha viária e são coletados dados referentes a cada trecho, como idade, estrutura do pavimento, histórico das intervenções, condição do pavimento, classificação funcional e volume de tráfego (LOPES et al., 2008), com base nos quais é feita a tomada de decisão (Figura 1).

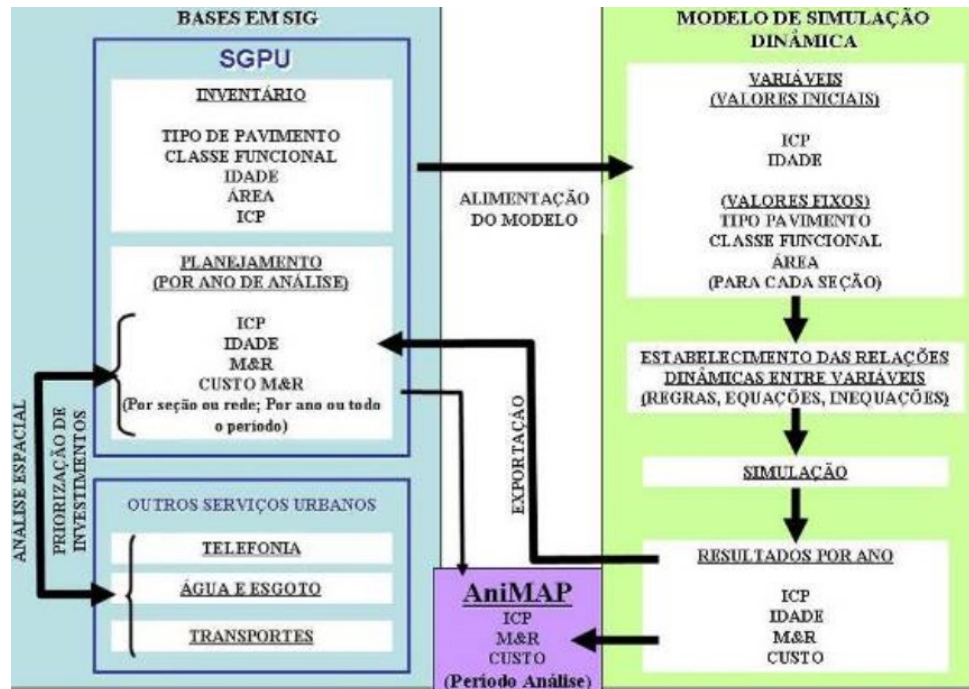


Figura 1: Fluxograma do método de análise proposto

2.1. Modelagem Dinâmica

Um sistema de modelagem dinâmica é aquele no qual se permite ter um entendimento de como todos os elementos interagem entre si, de modo que a mudança em uma variável afeta outras variáveis do sistema, até que estas últimas voltem a afetar a variável inicial.

Para a aplicação da Dinâmica de Sistemas foi utilizado o software Vensim, que possui versões acadêmicas distribuídas gratuitamente no site de seu desenvolvedor, Ventana Systems. É possível representar facilmente um modelo mental através da modelagem visual, escrevendo as variáveis na tela do programa e definindo suas relações com setas, sendo possível, também, definir o modelo formal através das equações matemáticas, que regem o comportamento de cada variável. Através da simulação e análise dos resultados, expressos na forma de gráficos e tabelas, pode-se aprimorar o modelo e melhorar o processo.

Com esta ferramenta os dados são trabalhados de modo a se obter informações que respondam as perguntas: Onde realizar atividades de M&R? Quais atividades realizar? Qual será o custo dessas atividades? Quando realizar tais atividades?

2.2. Sistema de Informações Geográficas

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) consiste em um conjunto de ferramentas capaz de adquirir, armazenar, transformar e emitir informações espaciais e não-espaciais. (SILVA et al., 2008). Assim, é inquestionável que os sistemas de transportes sejam uma das áreas nas quais o SIG pode desempenhar um importante papel.

Após utilizar o programa Vensim para se obter as informações desejadas sobre quais, onde e quando realizar atividades de M&R, um SIG pode ser utilizado para transformar as informações em imagens, através de mapas temáticos, que permitem mostrar os cenários atuais e fazer previsões de cenários futuros.

3. MONTAGEM DO MODELO DE SGPUD

3.1. Diagrama de Relações Causais

A primeira etapa para a construção de um modelo dinâmico é a criação de diagramas causais, ou seja, diagramas que permitam visualizar, através de setas, qual a interação entre as variáveis consideradas. É possível observar quais fatores influenciam cada variável e quais são influenciados por elas.

No caso do modelo utilizado para este estudo, as variáveis se relacionam da seguinte forma:

- O ICP, a idade, o VDM e a classe funcional determinam o Índice de Prioridade (IP) de cada trecho;
- O IP determina a ordem em que os trechos devem receber as atividades de manutenção;
- A atividade de M&R de cada trecho é determinada em função do ICP, da idade e do VDM;
- A partir da ordem definida, o custo unitário de cada atividade de M&R e o orçamento anual disponível determinam quais trechos devem receber manutenção a cada ano.

Conforme um trecho recebe uma atividade de manutenção, seu ICP é modificado, retornando ao começo do ciclo. A Figura 2 apresenta um modelo simples de Diagrama de Relações Causais, que serviu de ponto de partida para os modelos desenvolvidos neste estudo, em que foram considerados os seguintes fatores: Índice de Condição do Pavimento (ICP); idade do pavimento; Volume Diário Médio (VDM) e classe funcional da via (arterial, coletora, local).

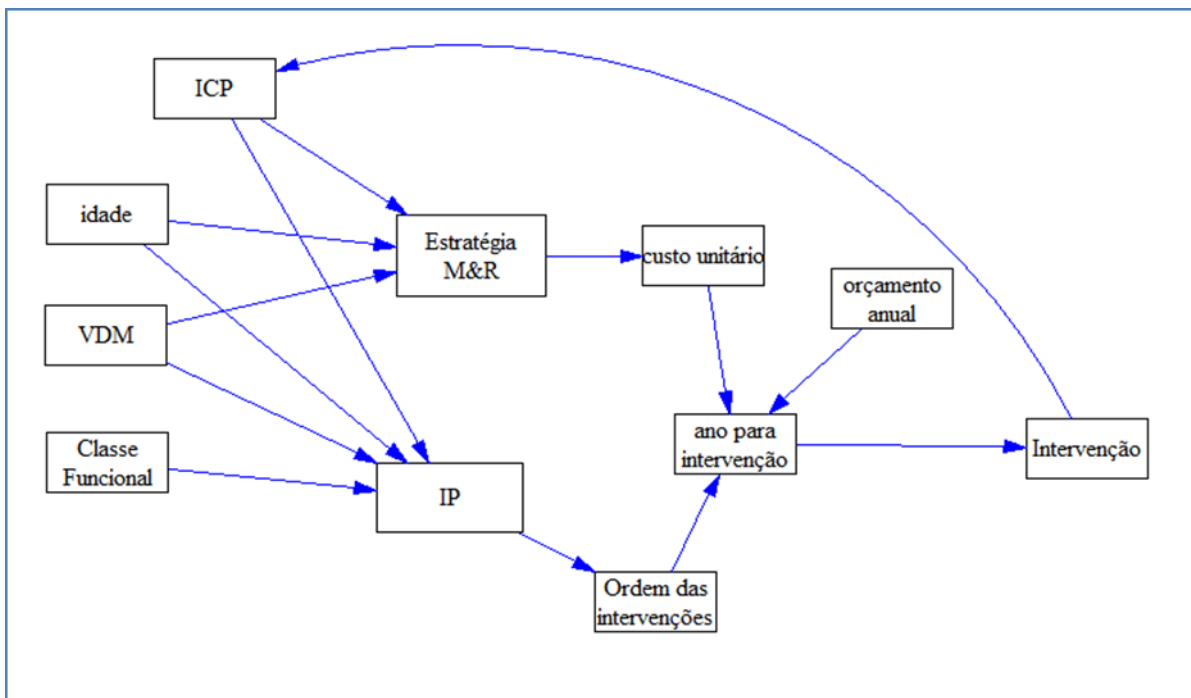


Figura 2: Diagrama de Relações Causais inicial de um SGPUD

O conceito de ICP (Índice de Condição do Pavimento) foi desenvolvido na década de setenta pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) com o intuito de quantificar a condição de pavimentos de estradas militares, ruas e áreas de estacionamento. Pode ser avaliado subjetivamente ou calculado a partir de resultados de uma avaliação de defeitos no campo, na qual se registram os tipos de defeitos encontrados e sua severidade e extensão. A partir destas informações são deduzidos pontos de um total de 100, em que 100 é o limite superior da condição muito boa e 0 é o limite inferior da condição muito ruim.

A idade do pavimento é o tempo transcorrido desde a sua construção, exceto nos casos em que já houve alguma atividade de reabilitação na via, como reforço ou reconstrução. Nestes casos, no momento em que a atividade é realizada, pode-se considerar que a idade do pavimento volta a “zero”, já que as atividades de reabilitação têm como característica uma mudança na estrutura do pavimento, deixando-o com características semelhantes às características de um pavimento novo.

O tráfego pode ser quantificado pelo volume diário médio (VDM), que é o volume médio de tráfego referente a 24 horas, num certo local. Quanto à classificação funcional, o Código Brasileiro de Trânsito estabelece que as vias urbanas podem ser divididas em quatro classes funcionais: vias de trânsito rápido, via arterial, via coletora e via local. Via de trânsito rápido é aquela caracterizada por acessos especiais, com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível. Via arterial é aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade. Via coletora é aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade. E via local, por fim, é aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

Cada uma das variáveis tem um comportamento que varia com o tempo e podem ser descritas de maneiras distintas. Esta mudança temporal de comportamento é de grande importância para a modelagem dinâmica, já que a situação encontrada hoje não é a mesma que será encontrada após alguns anos, interferindo assim nos resultados finais. A unidade de tempo utilizada será um ano.

A idade do pavimento evolui proporcionalmente ao tempo, sendo que sua contagem recomeça quando é realizada alguma atividade de reabilitação na via. Por sua vez, a classe funcional de uma via tende a não mudar quando se olha um período de tempo como o desta análise (oito anos), a não ser que haja algum projeto especial com este objetivo, que pode ser desde uma mudança no tráfego de um conjunto de ruas, que pode levar uma via local a funcionar como via coletora, ou medidas de moderação do tráfego (“traffic-calming”), que pode retirar o fluxo intenso de uma rua e fazer com que ela deixe de ser coletora e passe a ser local, ou até mesmo fazer com que uma via local vire uma via de pedestres.

O ICP tende a diminuir com o tempo, em função das solicitações do tráfego, das intempéries e do próprio envelhecimento. Zerbini (1999) desenvolveu, com base nos dados da cidade de Araraquara, equações que descrevem o comportamento do ICP com o tempo, para cada tipo de classe funcional e histórico de manutenção das vias. As equações são apresentadas na Tabela 1, em que:

ICP = Índice de Condição do Pavimento após t anos;

t = anos decorridos da avaliação.

Tabela 1: Equações dos modelos de desempenho desenvolvidos por Zerbini

	Com Manutenção	Sem Manutenção
Vias Arteriais	$ICP = 97,95 \cdot 0,9920^t$	$ICP = 96,81 \cdot 0,9910^t$
Vias Coletoras	$ICP = 98,53 \cdot 0,9940^t$	$ICP = 97,87 \cdot 0,9930^t$
Vias Locais	$ICP = 98,89 \cdot 0,9940^t$	$ICP = 97,87 \cdot 0,9930^t$

Com o objetivo de adaptar as equações disponíveis para uma situação na qual se tenha as informações atuais dos pavimentos, porém não se conhece a sua idade, é proposto o uso do ICP_i (ICP inicial), que é a condição do pavimento no momento inicial da análise. Dessa forma, a degradação do pavimento começa a ser contada do momento em que a avaliação é feita e acontece de forma constante, conforme apresentado na Tabela 2, em que:

ICP_t = Índice de Condição do Pavimento após t anos;

ICP_i = Índice de Condição do Pavimento no momento da avaliação;

t = anos decorridos da avaliação.

Tabela 2: Equações propostas para medida de desempenho do pavimento em situações onde não há registro da idade do pavimento

	Com Manutenção	Sem Manutenção
Vias Expressas e Arteriais	$ICP_t = ICP_i \cdot 0,9920^t$	$ICP_t = ICP_i \cdot 0,9910^t$
Vias Coletoras e Locais	$ICP_t = ICP_i \cdot 0,9940^t$	$ICP_t = ICP_i \cdot 0,9930^t$

O VDM, com o passar dos anos, evolui de acordo com a Equação 1:

$$VDM_n = VDM_0(1 + i)^n \quad (1)$$

VDM_0 = VDM no ano zero;

n = anos;

i = taxa de crescimento do VDM, adotada igual a 5% neste trabalho.

3.2. Índice de Prioridade

Para se definir quais vias têm prioridade no recebimento das atividades de manutenção ou reabilitação, é utilizado um Índice de Prioridade (IP), determinado em função do ICP , da idade, do VDM e da classe funcional da via (Equação 2). Os cinco níveis dos fatores considerados no cálculo do IP são apresentados na Tabela 3.

$$IP = 0,7[(niv_ICP - 1) \cdot 5 + niv_IDADE] + 0,3[(niv_VDM - 1) \cdot 3 + niv_CF] \quad (2)$$

em que: IP = índice de prioridade;
 niv_ICP = nível no qual se enquadra o ICP da via;
 niv_IDADE = nível no qual se enquadra a idade da via;
 niv_VDM = nível no qual se enquadra o VDM da via;
 niv_CF = nível no qual se enquadra a classe funcional da via.

Tabela 3: Definição dos níveis dos fatores ICP, Idade e VDM

	1	2	3	4	5
ICP	Muito Ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito Bom
(0 – 100)	0 – 30	30 – 50	50 – 70	70 – 90	90 – 100
	1	2	3	4	5
IDADE	Muito Velho	Velho	Regular	Novo	Muito Novo
(anos)	> 20	20 – 15	15 – 10	10 – 5	< 5
	1	2	3	4	5
VDM	Muito Alto	Alto	Regular	Baixo	Muito Baixo
(UVP/1000)	> 30	30 – 15	15 – 5	5 – 1	< 1

3.3. Escolha da Estratégia de M&R

De acordo com as informações disponíveis sobre cada pavimento, é possível fazer a escolha da atividade de M&R que deve ser realizada no trecho, de modo que atenda às suas necessidades. A técnica de apoio à decisão utilizada neste trabalho foi a Árvore de Decisão (Fernandes Jr. et al., 2006), sendo a estratégia de M&R escolhida em função do ICP, da Idade e do VDM do segmento analisado. Os fatores de entrada são considerados em níveis, como apresentado na Tabela 3, e as Estratégias disponíveis são as apresentadas na Tabela 4.

3.4. Fator de Decisão: Custo

Pesquisa realizada por Lima (2007), com respostas de diversos municípios brasileiros de médio porte, constatou que um dos fatores mais levados em consideração na hora da decisão sobre qual trecho deve sofrer intervenção é o custo, pois o orçamento anual disponível é um fator limitante. Assim, neste trabalho, após a hierarquização de todos os trechos, de acordo com o IP, e da determinação, para cada um deles, da melhor estratégia de manutenção ou reabilitação, calcula-se o custo total da intervenção recomendada para cada trecho a partir do custo unitário e da área que necessita de manutenção. Com o custo acumulado, na ordem decrescente de prioridade, e conhecendo-se o orçamento anual disponível, determinam-se quais atividades podem ser desenvolvidas naquele ano e quais devem ser feitas

nos anos seguintes. Além disso, essa análise também pode servir solicitações de dotação orçamentária complementar, a fontes estatais e privadas, inclusive estrangeiras.

Tabela 4: Atividades de M&R consideradas e seus respectivos custos unitários

Estratégia	Descrição	Custo unitário (R\$/m ²)
0	Não fazer nada	-
1	Manutenção Corretiva	2,00
2	Manutenção Preventiva	5,00
3	Reforço Convencional	18,00
4	Reforço com Fresagem	25,00
5	Reconstrução	50,00

4. TESTE DO SGPUD

Com o objetivo de testar o uso da ferramenta de modelagem dinâmica a um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos, foi utilizada, inicialmente, uma base de dados fictícia, com 10 trechos viários homogêneos, ou seja, com características estruturais e funcionais semelhantes dentro do segmento. As características de cada segmento encontram-se na Tabela 5, que fornece informações relativas à área da seção (largura da via multiplicada pelo comprimento do trecho), à classe funcional (via de trânsito rápido: 1; arterial: 2; coletora: 3; ou local: 4), ao ICP (0 a 100), idade (tempo, em anos, decorrido desde a construção do trecho ou da última atividade de reabilitação) e ao VDM.

O modelo gerado é apresentado na Figura 3, que mostra a tela do programa Vensim, indicando todos os parâmetros envolvidos na análise e as relações entre eles, indicadas por setas.

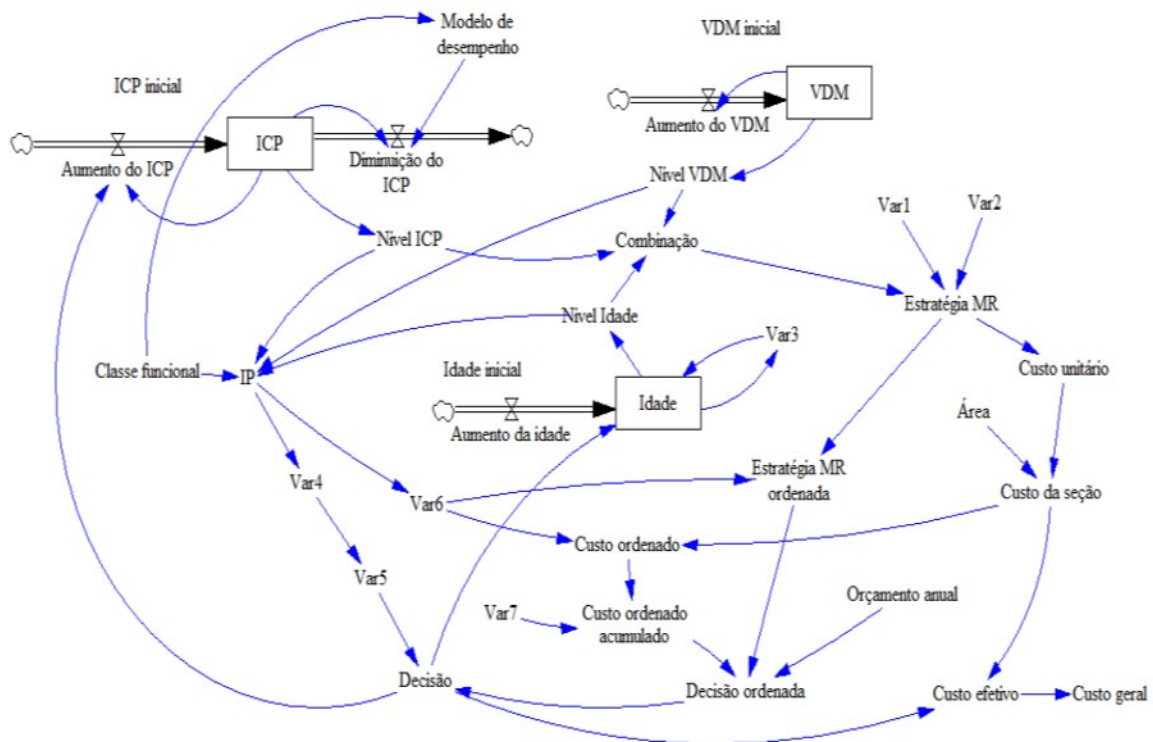


Figura 3: SGPU modelado através do programa Vensim

Tabela 5: Dados de entrada do modelo

Segmento	Área (m ²)	Classe Funcional	ICP (0-100)	Idade (anos)	VDM (UVPs/1000)
1	1500	3	80	13	10
2	1500	3	60	15	15
3	1000	4	70	10	7
4	1000	4	35	7	5
5	1000	4	50	5	1
6	1500	2	30	20	30
7	1500	2	60	10	30
8	1000	3	70	7	10
9	1000	4	65	7	5
10	1000	4	45	2	4

Com o uso do programa Vensim e com os dados dos dez segmentos apresentados na Tabela 5 foi feita uma simulação com período de análise de 8 anos, considerando-se o orçamento anual disponível para cada ano igual a R\$ 75.000,00. Foi considerado que, para cada tipo de intervenção, a condição do pavimento é melhorada de acordo com o indicado na Tabela 6.

Tabela 6: Valores de ICP e idade após intervenção

Ao Passar pela Atividade de M&R:	O ICP do trecho passará a ser:	E sua idade passará a ser:
Não fazer nada	o mesmo	a mesma
Manutenção Corretiva	80	a mesma
Manutenção Preventiva	85	a mesma
Reforço Convencional	90	0 (zero)
Reforço com Fresagem	95	0 (zero)
Reconstrução	100	0 (zero)

A Figura 4 indica qual estratégia de M&R foi recomendada para cada trecho, enquanto a Figura 5 indica a evolução do ICP ao longo do tempo, em que cada linha representa um trecho analisado e os picos observados significam que uma intervenção foi realizada naquele trecho, resultando em uma melhora no ICP.

Para os trechos onde foram realizadas atividades de reabilitação, a contagem da idade é reiniciada, passando novamente a zero, conforme indicado na Figura 6. Nos trechos onde foram realizadas atividades de manutenção, a idade continua a ser contada, de acordo com o tempo decorrido.

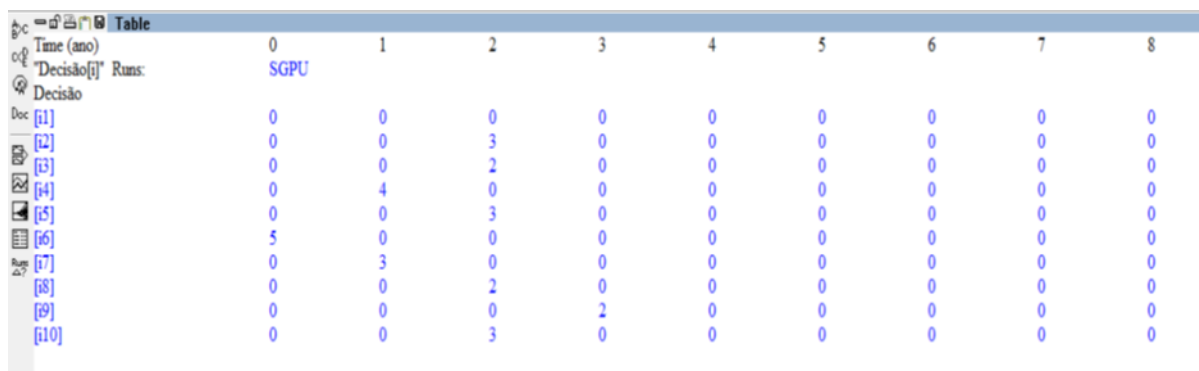


Figura 4: Atividades realizadas em cada trecho por ano

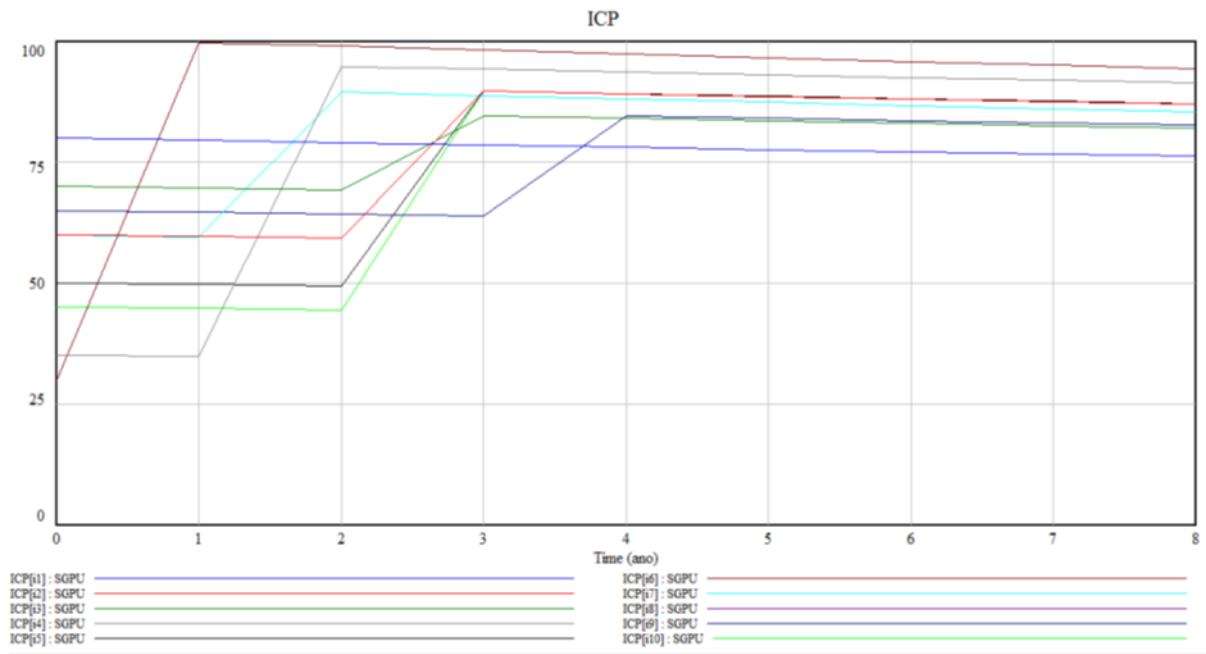


Figura 5: Evolução do ICP com o tempo, considerando-se as intervenções realizadas

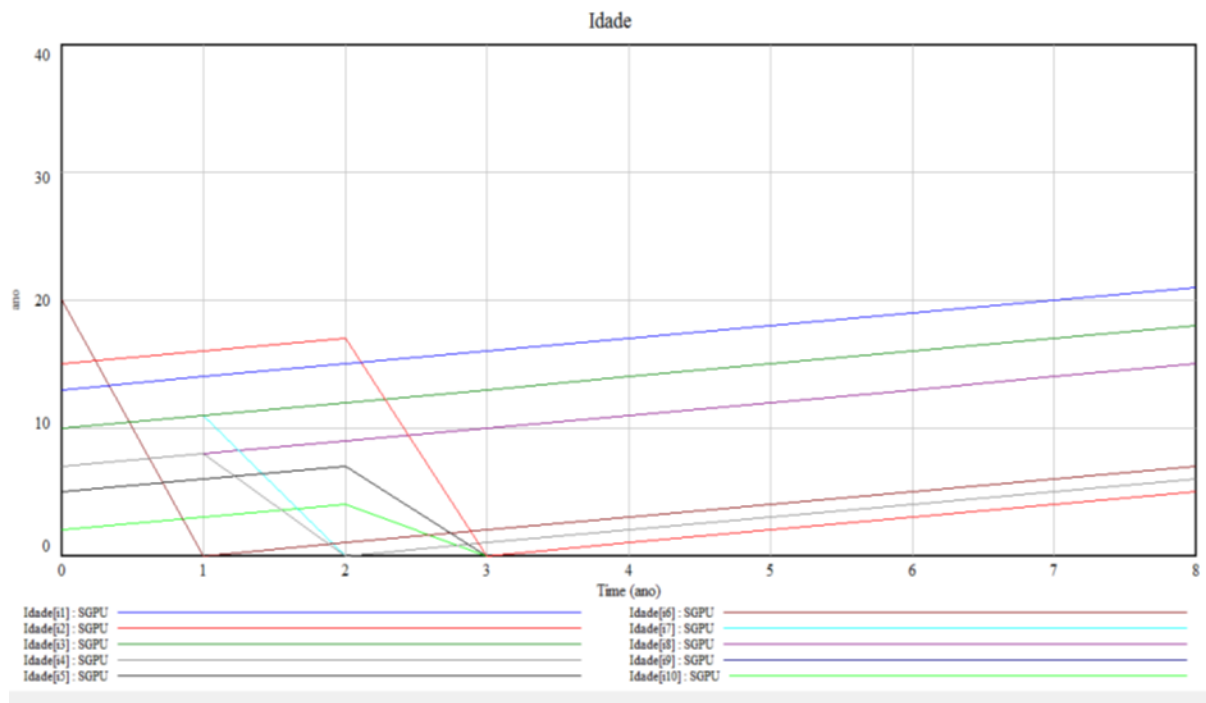


Figura 6: Evolução da idade do pavimento, considerando-se as intervenções realizadas

Conforme as atividades são realizadas, vão sendo contabilizados os custos de cada uma delas, conforme apresentado na Figura 7. Pode-se observar que, a partir do ano 4, não houve necessidade de manutenção das vias, tendo o custo ficado nulo.

O Modelo de SGPUD desenvolvido neste trabalho foi testado com os dados de uma cidade de médio porte (aproximadamente 400.000 habitantes). A análise em nível de rede apresenta a relação das estratégias de manutenção e reabilitação mais indicada para cada uma das seções da rede viária pavimentada (Figura 8).

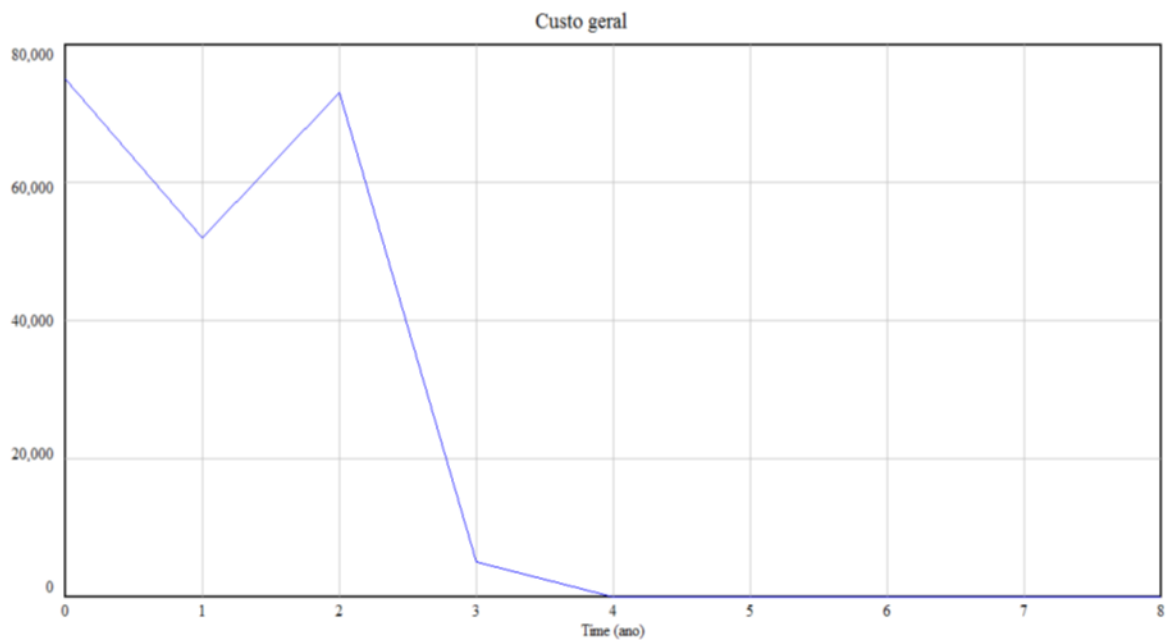


Figura 7: Custo anual, resultado da soma dos custos das atividades realizadas a cada ano

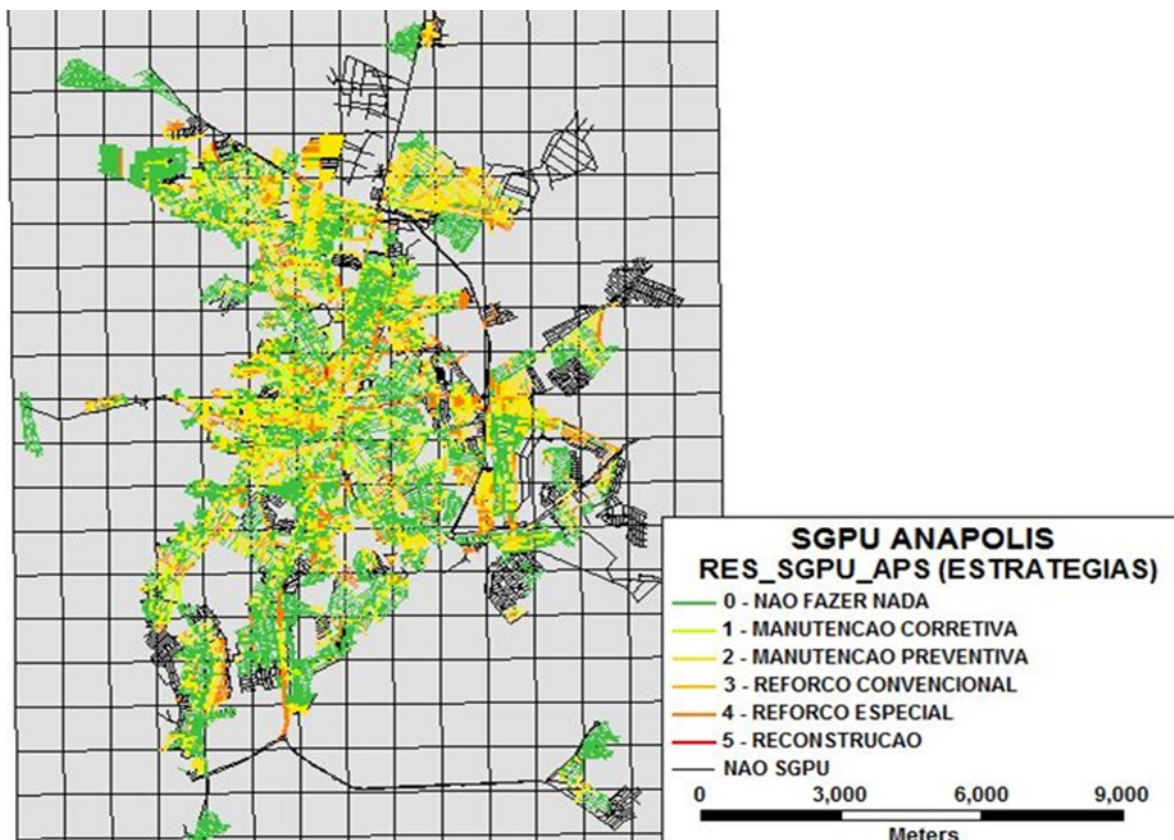


Figura 8: Recomendação de Atividades de Manutenção e Reabilitação para cada segmento

Em síntese, com base em dados de inventário (volume de tráfego e idade) e, principalmente, na avaliação da condição dos pavimentos (ICP), fez-se a seleção da estratégia de manutenção e reabilitação, cujo custo unitário multiplicado pela área da seção fornece o custo da intervenção, sendo o acumulado dos custos de intervenção em cada segmento, na ordem decrescente de prioridade, confrontados com os recursos financeiros e materiais necessários, para definição do ano recomendado para cada intervenção.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo foi aplicada a modelagem dinâmica de sistemas a um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos (SPGU), com uso do programa Vensim, tendo sido desenvolvido um método para formalização do processo de tomada de decisão por parte dos profissionais responsáveis pelas intervenções nos pavimentos, que permite, também, a compatibilização das estratégias de manutenção e reabilitação dos pavimentos com o planejamento de intervenções em outras infraestruturas urbanas (água, esgoto, energia elétrica, gás, telefonia etc.), com potencial para reduzir significativamente o custo total para a sociedade.

O método também foi aplicado a uma base de dados real, de uma cidade brasileira de médio porte, sendo os resultados apresentados de maneira visual, através de mapas temáticos, com o uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Todas as vias municipais foram avaliadas e foi feito um diagnóstico de cada tipo de defeito existente em cada logradouro, avaliando-se a extensão, o nível de severidade e a causa provável dos defeitos, propondo-se, ao final, medidas mitigadoras para cada seção levantada.

Os dados foram inseridos em um banco de dados vinculado a um SIG, que cadastrou a condição do pavimento em todos os logradouros municipais, facilitando o acesso às informações e a visualização dos problemas. O Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos Dinâmico (SGPUD) implantado tem informações que, devidamente analisadas, permitem à Prefeitura Municipal racionalizar a aplicação dos recursos.

Trata-se de um exemplo de processo sinérgico, com transferência de tecnologia para a sociedade, que une o poder público (prefeituras), a universidade e a iniciativa privada, representada pelas empresas prestadoras de serviços na área de infraestrutura urbana.

Os benefícios já alcançados pelo município em que o estudo de caso foi desenvolvido incluem:

- formação e aperfeiçoamento técnico dos gestores públicos e dos tomadores de decisão;
- incentivo à interdisciplinaridade, pois diversos técnicos de formações distintas trabalham e opinam nos serviços a serem executados (Engenheiros Civis, Arquitetos, Economistas, Administradores);
- incorporação da prática de manutenção preventiva das infraestruturas críticas do município, não se utilizando somente as opções remendos (tapa-buracos emergenciais) e recapeamentos sem projeto;
- a aplicação racional dos recursos, avaliada ao longo de três anos, reduziu os custos com a pavimentação asfáltica e, principalmente, melhorou a qualidade dos pavimentos, confirmando as evidências obtidas na simulação inicial, que considerou apenas 10 segmentos hipotéticos ;
- melhoria do processo licitatório para contratação de empresas especializadas em atividades de manutenção (corretiva e preventiva), reabilitação e reforço de pavimentos flexíveis;
- trata-se de processo economicamente viável, pois o custo da implantação do SGPU foi inferior a 1% do custo das atividades de manutenção e reabilitação previstas;
- possibilidade de envio de propostas e solicitações de verba ao Governo Federal e órgãos financiadores, como por exemplo, Ministério das Cidades, Banco Mundial, agências estrangeiras (JICA, GTZ etc.), pois as informações e análises têm sólida base técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernandes Jr., J. L.; Oda, S.; Zerbini, L. F. (2006) *Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos*. Gráfica EESC-USP. São Carlos.
- Haas, R.; Hudson, R. W.; Zaniewsk, J. (1994) *Modern Pavement Management*. Editora Krieger Publishing Company, Malabar - Florida.
- Lima, J. P. (2007) *Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos*. Tese de Doutorado – EESC – USP, São Carlos.
- Lopes, S. B.; Pfaffenbichler, P.; Emberger, G.; Riedl, L.; Fernandes Jr., J. L. (2008) Gerência de Pavimentos Urbanos com Uso de Modelagem Dinâmica de Sistemas Diretamente Conectada com um SIG. *Anais do XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro.
- Silva, A. N. R.; Ramos, R. A. R.; Souza, L. C. L.; Rodrigues, D. S.; Mendes, J. F. G. (2008) *SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes*. São Carlos, SP, gráfica EdUFSCar.
- Zanchetta, F. (2017) *Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Análise Econômica*. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Zerbini, L. F. (1999) *Desenvolvimento de modelos de desempenho para utilização em sistemas de gerência de pavimentos urbanos*. Dissertação de Mestrado – EESC - USP, São Carlos.



www.abpv.org.br



WHITETOPPING TIPOS, MÉTODOS E UTILIZAÇÃO

Gabriela Rebeca de Almeida¹

Lívia de Assis Costa Perroud²

Dalter Pacheco Godinho³

¹ Graduanda Engenharia Civil, Instituto Metodista Izabela Hendrix - gabirebecal@yahoo.com.br

² Graduanda Engenharia Civil, Instituto Metodista Izabela Hendrix - liviacperroud@hotmail.com

³ Professor Me. do Instituto Metodista Izabela Hendrix

RESUMO

O artigo visa a divulgação da tecnologia *Whitetopping*, ainda pouco utilizada no Brasil. O sistema consiste na colocação de uma camada do concreto de cimento Portland (pavimento rígido de concreto), sobreposto ao pavimento flexível existente, sendo que este poderá ou não estar em avançado estado de degradação. Os métodos de construção serão explicados ao longo deste trabalho. Por meio da pesquisa descritiva e exploratória, foram abordadas considerações relevantes para o projeto e a execução desta inovação tecnológica, que possibilita a revitalização de nossas vias, principalmente as de alto tráfego de veículos, como as estradas e vias destinadas ao uso exclusivo de ônibus, tornando-se uma interessante solução técnica. Trata as vantagens do *Whitetopping* para que se tenha percepção da economia adquirida com este novo conceito, pois sua durabilidade é no mínimo duas vezes superior à do pavimento flexível e ressaltando também a baixa manutenção. Ponto de suma importância é que este tipo de pavimento não sofre deformação plástica, então não ocasionam patologias como buracos e trilhas de rodas, que são típicas de um pavimento asfáltico, garantindo maior vida útil e capacidade de suporte às vias. Neste artigo apresentou-se algumas normas conforme descritas no Manual de Pavimentos Rígidos (IPR-714) do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), além de obras já realizadas no Brasil em pleno uso, com destaque para as revitalizações implementadas na cidade de Belo Horizonte/MG.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, Pavimento Rígido, *Whitetopping*.

ABSTRACT

The article aims at dissemination of the technology Whitetopping, still little used in Brazil. The system consist of placing a layer of Portland cement (hard concrete floor) superimposed to the existing flexible pavement, and this may or may not in an advanced state of degradation. The methods of construction will be explained throughout this work. Through descriptive and exploratory research, we were addressed relevant considerations for the design and execution of this technological innovation, which enables the revitalization of our lives, especially those of high vehicular traffic, such as highways, roads intended for exclusive use of buses, making it an efficient solution technique. Treats Whitetopping the advantages that it has acquired perception of economy with this new concept, because its durability at least twice to the upper floor and the flexible highlighting also the low maintenance. Pont of paramount importances is that this deck does not undergo plastic deformation, so do not cause conditions such as holes and wheel tracks, which are typical of an asphalt pavement, ensuring longer life and carrying capacity of road. This article presented some rules as described in Pavements Manual Hard (IPR – 714) DNIT (National Department of Infrastructure and Transport), in addition to work already carried out in Brazil in full use, especially the renovations implemented in the city of Belo Horizonte / MG.

KEY WORDS: Concrete, Hard Pavement, *Whitetopping*.

1 - INTRODUÇÃO

Em um país como o Brasil, onde há predominância do transporte rodoviário, em relação aos demais modais, sendo 62 % de sua carga e 96 % de seus passageiros conduzidos por estradas, o avanço no sistema rodoviário é urgente, não apenas para quem faz uso do transporte, mas para todos os setores envolvidos na economia e a sociedade em geral, que são dependentes da mesma para atingir níveis satisfatórios de desenvolvimento (CNT, 2007).

O relevante aumento do tráfego, das cargas por eixos e da quantidade e dos tipos de eixos por veículos, transmite aos gestores de redes viárias um desafio permanente: reparar, recuperar, substituir ou aumentar a eficiência de carga de pavimentos em determinado estágio de degradação, sem causar demora no tráfego, desvio de rota e congestionamento, que aumentam os custos de operação dos veículos e do usuário (CARVALHO, 2012).

Diante deste cenário, surge a alternativa de aproveitar as vantagens do pavimento de concreto de cimento Portland (ABCP, 2012). Conforme Giublin (2007) este tipo de pavimento possui diversas vantagens na utilização sobre superfícies deterioradas, sendo: lançamento sobre pavimento existente, eliminação da proliferação de trincas, segurança de rolamento e garantia de vida útil superior a vinte anos. Este método citado trata-se do *Whitetopping*, aplicação de uma camada de pavimento de concreto sobre um pavimento asfáltico existente, o qual passa a exercer a função de base e revestimento para o novo pavimento. O termo *Whitetopping* – superfície branca em tradução livre - está relacionado à cor mais clara do novo pavimento substituindo o anterior (ABCP, 2012).

O *Whitetopping* tem sido utilizado com a finalidade de recuperar rodovias, corredores de ônibus, avenidas, portos e aeroportos do Brasil (NAKAMURA, 2011). Nas vias das cidades utiliza-se dois tipos principais de pavimentos: o flexível, construído na maioria das vias e o rígido ocasionalmente visto em corredores de ônibus, pistas de rápida circulação com trânsito excessivo e pesado. O tempo mínimo para manutenção corretiva em um pavimento rígido é de aproximadamente vinte anos de vida útil contrapondo aos seis anos do pavimento flexível, conforme apontam especialistas. A escolha pelo tipo de pavimento rígido é fomentada em virtude das concessões a iniciativa privada das estradas e corredores de ônibus, que, ao escolher o pavimento de concreto viabiliza economicamente o empreendimento (FALIZARI, 2013).

A necessidade de recuperação de rodovias, corredores de ônibus no Brasil (a exemplo do MOVE da Avenida Antônio Carlos, em Belo Horizonte) e vias de forma geral, surge devido à má execução e à falta de manutenção que ocasionam patologias (trilhas de roda, panelas, trincas em geral, dentre outros) prejudicando a segurança e conforto dos usuários. Dessa forma, questiona-se sobre a utilização de novas soluções que poderiam atender ao trato técnico e às exigências do usuário.

A utilização da técnica *Whitetopping* aparece como solução para as degradações dos pavimentos das vias que recebem a monta de veículos, devido às grandes solicitações de tráfego que esta tecnologia suporta e a sua vida útil ser aproximadamente vinte anos.

As execuções de obras na cidade de Belo Horizonte/MG que implementaram esta tecnologia são apresentadas, pois estão em locais onde a pavimentação necessitou de especial atenção, dado o grande fluxo de veículos, tanto de pequeno quanto de grande porte.

Torna-se importante a divulgação da técnica de recuperação de pavimentos denominada *Whitetopping*, visto seu grande potencial e baixa utilização no Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O pavimento flexível revitalizado com concreto de cimento Portland é denominado *Whitetopping*. Evolução da ideia que a revitalização de pavimentos flexíveis só pode ser executada com materiais de características equivalentes. (ABCP, 2015).

2.1. Considerações para Projeto

Segundo a ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland (2010), a técnica equivale em aplicar pavimento de concreto sobre pavimento flexível, com ou sem camadas de nivelamento, obedecendo aos procedimentos técnicos de projeto e construção dos pavimentos rígidos, normalmente a tecnologia solicita de pouca reparação do pavimento existente antes da sua colocação. Nessa situação, o pavimento de concreto é aplicado sobre o pavimento flexível com a superfície deteriorada, seja em estradas, portos, aeroportos, avenidas e corredores de ônibus.

2.1.1. Espessuras das Placas

Giublin (2007), afirma que a espessura mínima recomendada é de 0,10 m. Já Pitta (1996), afirma que a definição da espessura no *Whitetopping* depende de uma observação da eficácia de suporte do pavimento existente, o qual pode ser averiguado por medida direta, através de dispositivos automáticos como *Falling Weight Deflectometer (FWD)*, ou pelo processo de viga Benkelmann. Para Borges (2001) *Falling Weight Deflectometer*, é um equipamento planejado para reproduzir as condições impostas pelo carregamento de um veículo em movimento e Viga Benkelmann é um teste de campo, utilizado para avaliar as deflexões dos pavimentos sob solicitações de carregamento.

2.1.2. Espaçamento das Juntas

Segundo Pitta (1996), um projeto de pavimento tipo *Whitetopping* é diferente do aplicado em pavimentos comuns de concreto, observa-se uma redução no intervalo entre as juntas que ocorre nos pavimentos comuns. O intervalo entre juntas transversais deve ser em torno de 25 vezes a espessura do *Whitetopping* (GIUBLIN, 2007). As juntas devem ter profundidade de 1/3 em relação a espessura do sistema (ABCP, s.d).

2.1.3. Tipologias

Segundo Nakamura (2011) há três tipologias:

- *Whitetopping* tradicional: em geral tem espessura superior a 15 cm. Aderência entre o asfalto e o concreto é desconsiderada.
- *Whitetopping* ultradelgado: aperfeiçoamento da técnica tradicional. Tem espessura inferior a 10 cm, devido utilização de concreto de alta resistência.
- *Whitetopping* delgado composto: espessura varia entre 10cm e 20cm. Tem aderência entre o asfalto e o concreto. É a associação entre os dois tipos.

2.1.4. Barras de Transferência e Ligação

As barras de transferência, têm como função transferir as solicitações de cargas verticais entre as placas de concreto, inibir o empenamento das placas e possibilitar a movimentação horizontal (INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS, 2012).

Conforme ABCP (s.d) as barras de transferência podem ser dimensionadas a partir das informações do Quadro 1, ou por meio de cálculos de ancoragem e área de aço.

Quadro 1 - Relação espessura de camada e uso de barras de transferência

Espessura (cm)	Diâmetro (mm)	Comprimento (cm)	Espaçamento (cm)
10 a 17,5	Não necessárias		
18 a 23	32	40	30
24 a 30	38	40	30

Fonte: ABCP (s.d)

As barras de ligação são colocadas nas juntas longitudinais de construção, com a finalidade de unir uma placa a outra. Para o correto dimensionamento são realizados cálculos de ancoragem e área de aço (ABCP, s.d).

2.2. Considerações para Execução

Há necessidade de recuperar o pavimento antes de realizar o recapeamento, caso o pavimento apresente problemas como deslocamento ou buracos, e/ou trilhas de roda severas. No local onde o revestimento mostre falhas, não ocasionando suporte correto e regular para a sobrecapa, é melhor retirá-lo e substituí-lo. É necessário o preenchimento com mistura a quente ou a frio, ocupando toda superfície deteriorada, nivelando a superfície no caso da existência de buracos ou painéis (PITTA, 1996). Existem três métodos construtivos de um *Whitetopping* (GIUBLIN, 2007):

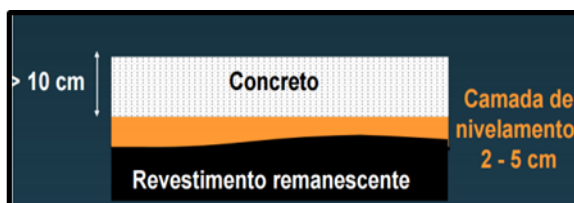
- Colocação Direta: Sucede de umedecimento da superfície, essa técnica não se faz necessário prévia do pavimento construído, é recomendada sua adoção quando as trilhas de roda existentes no revestimento asfáltico se mostrarem inferiores a 50 mm de profundidade, as trincas, deformações superficiais e demais ocorrências semelhantes serão preenchidas pelo concreto do *Whitetopping*, conforme Figura 1.
- Camada de Nivelamento: Combinação betuminosa usinada a quente com 25 a 50 mm de espessura, que se torna uma opção nos casos em que as interferências superficiais sejam de 50 mm no mínimo. Este método de preparação à colocação do *Whitetopping* possui custo elevado dentre os três procedimentos apresentados, além de necessitar de diversos equipamentos, materiais diferentes (asfalto e concreto) e um alto período de execução, conforme Figura 2.

Figura 1 – Colocação direta na superfície



Fonte: Giublin (2007)

Figura 2 – Camada de Nivelamento



Fonte: Giublin (2007)

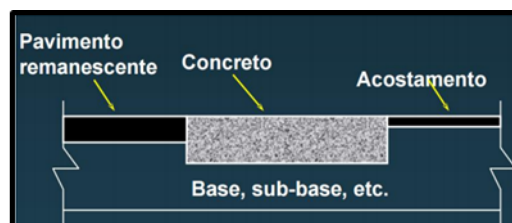
- Fresagem: Utilizado quando as trilhas de roda são de profundidade superior a 50 mm, ou quando ocorrem ondulações muito acentuadas. A profundidade usual de fresagem gira em torno de 25 a 75 mm. O uso dessa solução junto com a colocação direta, é muito comum e pode em grandes obras, “otimizar” o custo de construção. Uma alternativa importante quando há restrições em relação a elevação do greide, é regular maior espessura do pavimento existente e construir um *Whitetopping* encaixado (*inlay*), de forma que as restrições de cota são obedecidas, conforme Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Fresagem no *Whitetopping*



Fonte: Giublin (2007)

Figura 4 – Encaixado (*Inlay*)



Fonte: Giublin (2007)

Conforme Nakamura (2011) utilizam-se os mesmos controles para execução do pavimento de concreto tradicional para executar o *Whitetopping*, exigindo controles tecnológicos do concreto como: resistência à tração na flexão, das camadas sob o pavimento e da espessura das placas finalizadas; medida da consistência pelo abatimento do tronco de cone, e o teor de ar inserido. Os requisitos a serem atendidos pela composição do concreto designado a execução são dados conforme a: NBR 12.821 - “Preparação de Concreto em Laboratório – Procedimento”, e NBR 12.655 - “Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento”.

A Norma DNIT 050/2004-EM apresenta requisitos para o cimento Portland designado à obras de pavimentação rígida (DNIT, 2005).

No processo de pavimentação com *Whitetopping*, a norma DNIT 068/2004 – PRO – Pavimento rígido – Execução da camada superposta de concreto tipo *Whitetopping* por meio mecânico – Procedimento, também deverá ser respeitada (DNIT, 2005).

No processo de pavimentação com *Whitetopping*, a norma DNIT 068/2004 – PRO – Pavimento rígido – Execução da camada superposta de concreto tipo *Whitetopping* por meio mecânico – Procedimento, também deverá ser respeitada (DNIT, 2005).

Em todo procedimento de aplicação é usual a diminuição da temperatura superficial do pavimento asfáltico existente, afim de evitar a transferência de calor à camada de concreto a ser colocada, evitando a evaporação rápida da água de mistura e as consequentes fissuras de retração térmica (VIEIRA E VIZZONI, 2005).

Segundo ABCP (2010), as descrições a seguir são necessárias para o correto procedimento de execução: analisar o estado atual do pavimento flexível; realizar ensaios da situação de suporte de carga do pavimento real que será revitalizado; preparar a superfície cobrindo as painelas existentes e realizar fresagem nas áreas com profundas deformações como trilhas de rodas, monitorar e dosar o concreto respeitando os requisitos do projeto; lavar com água limpa a superfície onde o concreto será sobreposto e adensado; realizar instantaneamente após a concretagem a texturização (ranhuras) da superfície e a aplicação do produto de cura química; e para finalizar serragem e selagem das juntas.

2.3. Vantagens no uso do *Whitetopping*

Segundo Giublin (2007), as vantagens na utilização do *Whitetopping* na restauração de pavimentos deteriorados, são: lançado sobre o pavimento asfáltico existente, somente em casos de degradação avançada se faz necessária preparação da superfície, utilização privilegiada em relação ao tráfego pesado, não permite a proliferação de trincas, prolonga a segurança de rolamento, a recuperação se dá de uma vez substituindo a técnica por etapas, vida útil em torno de vinte anos.

Conforme ABCP (2015) algumas das vantagens são: maior durabilidade e preservação do pavimento, baixo custo com manutenção, economia de combustível e de produto rodante, propicia maior reflexão da luz o que favorece as condições de visibilidade do motorista, ecologia e meio ambiente: ao término de sua vida útil é completamente reciclável, inibe o fenômeno de lixiviação e diminuição de emissão de gases.

3. METODOLOGIA

O conteúdo do referencial teórico foi verificado conforme o Manual de Pavimentos Rígidos (IPR-714) do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

O artigo teve como base pesquisa descritiva, onde os autores utilizaram acervo bibliográfico para apresentação do tema abordado, buscando materiais publicados em livros, artigos, dissertações e teses; e pesquisa exploratória levantando as informações necessárias sobre o objeto de pesquisa e as principais questões sobre o tema, visto que ainda há poucos estudos sobre a tecnologia retratada neste trabalho.

A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de consultas literárias a respeito do tema *Whitetopping*, suas características, vantagens, tipologias, métodos executivos e locais onde a tecnologia foi implementada no Brasil. As pesquisas foram realizadas por meio eletrônico como: sites do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), do Google Acadêmico, informações impressas que foram consultadas na biblioteca do Instituto Metodista Izabela Hendrix, além de obtenção de dados com o setor de Engenharia Civil da SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital) acerca de obras realizadas em Belo Horizonte.

A pesquisa exploratória foi realizada por meio de visita ao DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), em contato com profissionais que possuem conhecimento sobre o sistema *Whitetopping*, para que o estudo tivesse o direcionamento correto sobre o tema escolhido. Realizando assim uma pesquisa teórico-prática, onde se obteve o posicionamento técnico de profissionais envolvidos com o tema sendo confrontado com as pesquisas literárias anteriormente realizadas, tornando necessário novas pesquisas para um entendimento completo acerca do assunto tratado e posterior desenvolvimento do artigo que retratou a nova forma de revitalização das vias, conhecida como *Whitetopping*.

Os autores visitaram, em Outubro/2016, duas obras na cidade de Belo Horizonte/MG onde a tecnologia *Whitetopping* foi implementada e está em pleno uso, sendo: Praça Sete de Setembro, no bairro Centro, e MOVE na Avenida Antônio Carlos (parcial), sendo o trecho visitado no bairro Lagoinha próximo à Rua Comendador Nohme Salomão, para registros fotográficos da atual situação do pavimento de concreto e posterior discussão.

Com todo este material coletado foi possível compilar os dados e obter embasamento técnico para a realização do trabalho proposto, buscando apresentar a tecnologia *Whitetopping*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Coletânea de Obras

São relacionadas a seguir algumas obras que utilizaram o sistema no Brasil, para revitalizar suas vias garantindo alto nível de serventia, são relacionadas a seguir:

- Segundo ABCP (2010): Via Expressa situada na cidade de Belo Horizonte/MG; BR 101, N/NE no trecho entre os Estados do Rio Grande do Norte, Pernambuco e Paraíba; Rodoanel localizado em São Paulo/SP e BR 290, vulgo *Free Way* que compreende o trecho da estrada de Osório a Porto Alegre.
- Conforme Concreto... (s.d): **SP-103/79, localizada em São Paulo/SP e Serra de São Vicente (BR 163/364) próximo a Cuiabá/MT.**
- Segundo (VIZZONI, 2015): Aeroporto Vila Bittencourt, localizado em Japurá/AM; Ponte Rio-Niterói, situada no Rio de Janeiro/RJ; Rodovia Castello Branco, localizada em São Paulo/SP; BR 232 Recife / Caruaru (Recife/PE) e Rodovia Dutra, localizada em São Paulo / Rio de Janeiro.

Verificou-se que as obras citadas, realizadas na cidade de Belo Horizonte/MG, foram implementadas com o sistema *Whitetopping*. Esta informação foi confirmada posteriormente por meio da SUDECAP, sendo: Praça Sete de Setembro, localizada na região central da cidade e MOVE da Avenida Antônio Carlos (parcial), corredor exclusivo para transporte coletivo.

4.2 Estudo de Obras realizadas em Belo Horizonte

A adoção do *Whitetopping* em Belo Horizonte teve como base a comparação entre características correlacionadas entre pavimento rígido e pavimento flexível, conforme ilustra o Quadro 2.

Quadro 2 - Comparativo do Pavimento Rígido x Pavimento Flexível

Pavimento Rígido	Pavimento Flexível
Vida útil superior a 20 anos	Vida útil inferior a 10 anos
Cargas bem distribuídas para o subleito	A distribuição de cargas é mais concentrada no subleito
Superfície sem deformações plásticas	Superfície deforma plasticamente
Baixa manutenção	Manutenção rotineira
“Ranhuras” na superfície	Superfície lisa

Fonte: elaborado pelos autores

A técnica *Whitetopping* apesar de pouco divulgada demonstrou alta performance.

Segundo Carvalho (2007), com valor de execução competitivo, o pavimento de concreto tem longa durabilidade, necessita de pouca manutenção e minimiza em grandes proporções a taxa de acidentes relacionados à situação da rodovia.

O pavimento flexível, deforma plasticamente causando patologias como trincas, panelas, entre outras. Sendo assim, há necessidade de um método que aumente a vida útil da pavimentação, em especial nas rodovias e corredores de ônibus, onde temos monta de veículos que provocam grandes solicitações de cargas sobre os pavimentos, sem causar transtornos aos usuários e interferência no volume de trânsito das vias. O *Whitetopping* atende a estes critérios.

Segundo Pitta (1996), quando existe a necessidade de desbloquear o tráfego, no caso de corredores de ônibus urbanos, utiliza-se o concreto de liberação rápida, ou *fasttrack*, o qual permite o trânsito de veículos em poucas horas.

Não existe necessidade de contratação de mão de obra especializada para aplicação da tecnologia, visto que os métodos de execução do *Whitetopping* são os mesmos do concreto tradicional.

Em referência a produção, transporte, lançamento, adensamento, acabamento superficial, texturização, cura e selagem de juntas de concreto do *Whitetopping* são iguais as operações efetuadas na construção dos pavimentos tradicionais de concreto (VIEIRA E VIZZONI, 2005).

O Quadro 3 demonstra que em locais onde não há restrição quanto a movimentação do maquinário, é recomendada a utilização de equipamentos de grande porte, pois tem-se área suficiente para realizar os trabalhos, como em rodovias, além de atingir alto rendimento em um dia de trabalho, cobrindo em curto prazo locais de grande extensão e liberando o tráfego dos veículos o mais rápido possível. O equipamento de régua vibratórias ou acabadoras de formas fixas de cilindro giratório, adaptam melhor as vias locais e coletoras das cidades, por se tratarem de trechos em geral com pouca largura, então os equipamentos de pequeno ou médios porte facilitam a implantação da tecnologia, apesar de acarretar impedimento do trânsito por um período de tempo maior por ter menor produtividade.

Quadro 3 – Equipamentos para execução do *Whitetopping*

Equipamento de grande porte	Equipamento de porte pequeno ou médio
Grande produtividade	Pouca produtividade
Vibroacabadoras de formas deslizantes	Réguas Vibratórias ou Acabadoras de formas fixas, de cilindro giratório
Abastecidas por usinas dosadoras e misturadoras de concreto	Concreto pré misturado em caminhão betoneira

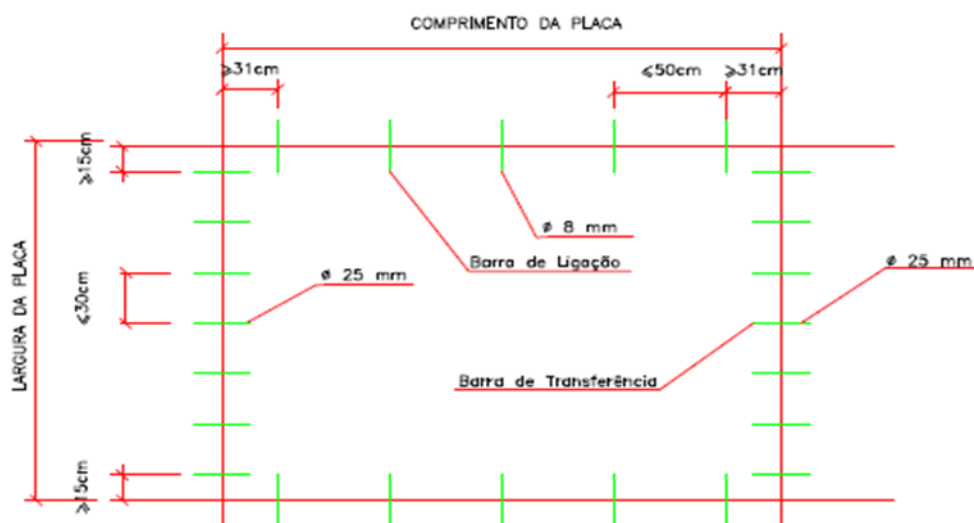
Fonte: elaborado pelos autores

Em visita às duas obras realizadas na cidade de Belo Horizonte: Praça Sete de Setembro e MOVE da Avenida Antônio Carlos, sendo que nesta segunda o sistema foi aplicado de forma parcial na pista, observou-se que no encontro dos pavimentos rígidos executados com os pavimentos flexíveis existentes, bem como nas recuperações necessárias no sistema, não ocorreram degraus nas vias, o que indica correta execução do serviço.

4.3. Obra Praça Sete de Setembro: Método Executivo

A obra realizada na Praça Sete de Setembro foi finalizada no ano de 2003. Iniciou-se a obra com fresagem do pavimento flexível existente, para que a superfície alcançasse cota conforme especificado em projeto. Foi adotado na maior parte do trecho pavimento de concreto simples, ou seja, não possui armadura estrutural, utilizando somente barras de ligação e de transferência, e executadas juntas previstas em projeto, conforme informado pela SUDECAP.

Figura 5:



Detalhe da fixação das barras de transferência e ligação (quadrantes)

Fonte: SUDECAP

Conforme analisado no esquema de distribuição das barras acima (Figura 5) utilizou-se barras de transferência e barras de ligação nos quadrantes, entretanto na região central (cruzamento) utilizou-se somente barras de transferência, para maior eficiência do sistema, visto que neste ponto existem solicitações maiores e dinâmica de cargas diferentes.

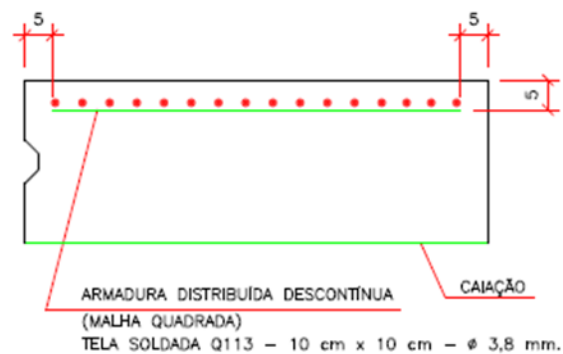
Foi verificado no projeto que: as barras de transferência tiveram espaçamento menor ou igual a 30 cm, com sua metade mais 2 cm pintadas e engraxadas, bitola de 25 mm, tamanho de 46 cm, aço tipo CA-25, são lisas e retas; as barras de ligação tiveram espaçamento menor ou igual a 50 cm, bitola de 8 mm, tamanho de 62 cm, aço tipo CA-50 e são corrugadas.

Figura 6: Disposição das armaduras



Fonte: SUDECAP

Figura 7: Armadura distribuída descontínua



Fonte: SUDECAP

As barras de transferência (Figura 6) foram fixadas à fundação com grampos metálicos para garantir que ficassem firmes e não deslocassem nas operações de lançamento, espalhamento e adensamento do concreto e sempre devem estar alinhadas. Os “caranguejos” são cavaletes de apoio da armadura. A caiação (Figura 7) trata-se de uma mistura de água e cal espessa que foi aplicada sobre a superfície do pavimento fresado e limpo, cuja função é amenizar o atrito entre o concreto e a camada asfáltica e funcionar como isolante térmico.

A armadura distribuída descontínua (tela soldada), conforme projeto, deve ficar a 5cm de distância do topo do pavimento e do final das placas (Figura 7). As armaduras foram colocadas na camada subjacente, sendo posicionadas na altura correta com instalação dos caranguejos e cortadas de acordo com o tamanho da placa onde seria aplicada.

Figura 8: Planta Praça Sete de Setembro (parcial)

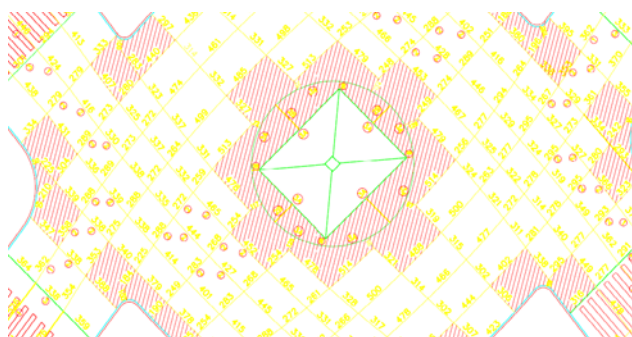
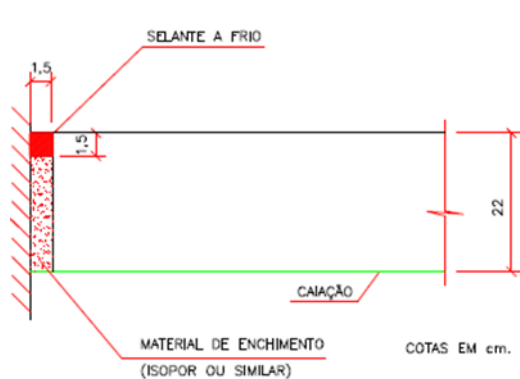


Figura 9: Detalhe da junta de expansão



As placas de cimento foram paginadas (Figura 8) de forma que atendessem ao tamanho 4,50 x 3,50m, estimado no relatório de dimensionamento da Base Engenharia Ltda.

As placas hachuradas receberam armadura distribuída descontínua, conforme Figura 9. Placas com interrupção como poste, boca de lobo e caixa de inspeção receberam a armadura distribuída descontínua, porém foram isoladas com junta de expansão no encontro do pavimento com estas estruturas, conforme Figura 9.

As juntas foram abertas com máquina de serra de disco diamantado e a profundidade respeitou a especificação de projeto. O corte das juntas foi feito no concreto semi-endurecido, aproximadamente 6 a 12 horas após finalização do acabamento superficial.

O selante a frio pode ser a base de silicone ou poliuretano. Para aplicação do selante todas as juntas foram previamente limpas com jatos de ar e vassouras de fios duros.

O lançamento foi realizado na frente de serviço o que facilitou o manuseio do concreto (Figura 10). O tempo máximo entre a mistura e o lançamento do concreto foi de 60 minutos. O espalhamento foi realizado com utilização de enxadas e pás (Figura 10). A régua vibratória auxiliou no adensamento e nivelamento do concreto, conforme Figura 11.

No lançamento do concreto deve-se formar pilhas de pequenas alturas, para diminuir o trabalho de espalhamento e evitar a segregação do concreto, segundo (DER/SP, 2007).

Figura 10: Lançamento e espalhamento



Fonte: SUDECAP

Figura 11: Adensamento



Fonte: SUDECAP

Figura 12: Acabamento superficial final



Fonte: SUDECAP

Figura 13: Cura do concreto



Fonte: SUDECAP

O acabamento superficial consistiu nas seguintes etapas: passagem do rodo metálico, na sequência fez-se uso da desempenadeira metálica especial de cabo longo articulado (*float*), depois a superfície passou por verificação de nível com régua metálica e finalizando utilizou vassoura piaçava garantindo rugosidade típica do pavimento, etapas verificadas na Figura 12.

De acordo com Paiva *et. al.* (2014), a texturização manual com a vassoura de piaçava é realizada afim de prover a superfície do pavimento ranhuras que aumentem as condições de aderência na pista. É utilizado uma vassoura de piaçava com largura e peso específicos que originam a textura esperada. A operação é iniciada imediatamente após a perda do brilho superficial do pavimento finalizado.

A primeira parte da cura iniciou-se logo após o acabamento superficial, aspergindo produto químico líquido a base de PVA, que forma uma película plástica (Figura 13) e após, foi realizada a cura úmida dispondo lonas plásticas sobre o pavimento e mantendo-as sempre umedecidas até que o trânsito fosse liberado.

O período total de cura foi de 36 horas, conforme informado pela SUDECAP.

Figura 14 A: Praça Sete - vista geral



Fonte: acervo dos autores

Figura 14 B: Detalhe - juntas e ranhuras da pista



Fonte: acervo dos autores

Nestas imagens registradas na visita a Praça Sete em Outubro de 2016, 13 anos após a conclusão da obra, (Figuras 14A e 14B) percebeu-se elevação suave da pista, o que indica utilização do método de fresagem. Além disso, não existem sarjetas e bocas de lobo no trecho para condução e captação de águas pluviais. A via está em pleno uso e não apresenta patologias. Após análise visual do local entrou-se em contato com o setor de Engenharia Civil da SUDECAP que informou que as placas de concreto são de espessura igual a 22cm, a pista possui leve rampamento e não se faz necessário uso de bocas de lobo, pois após a cura do concreto o mesmo não tem reação com a água.

Todo o projeto e seus detalhamentos foram obedecidos para garantir a excelência na execução e desempenho esperado do pavimento.

4.5. Obra MOVE Avenida Antônio Carlos (parcial)

Figura 15 A: Vista parcial do MOVE



Fonte: acervo dos autores

Figura 15 B: Detalhe recuperação pavimento



Fonte: acervo dos autores

Na obra do MOVE na Avenida Antônio Carlos (parcial), conforme Figura 15 A, notou-se que não existe elemento construtivo, que demarquem a mudança da pista de rolamento entre o pavimento flexível e o *Whitopping*, como rampas ou cunhas, indicando assim que o método de execução utilizado foi encaixado (*inlay*) com fresagem.

Verificou-se também que existem recuperações da camada rígida do pavimento em partes da pista do MOVE da Avenida Antônio Carlos (parcial), conforme Figura 15 B, e que estas não tiveram perfeita execução, pois percebeu-se que na região das juntas ocorreu a fragmentação de parte da placa rígida vizinha à recuperada.

Quando o greide da pista não pode ser elevado, pois se faz necessário obedecer às restrições de cota, faz-se uso da técnica de fresagem em uma espessura maior da pista de rolamento existente e logo após executa-se o *Whitopping* encaixado (*inlay*) (NAKAMURA, 2011).

Segundo ABCP (2015) no Brasil é usualmente aplicado a execução do *Whitopping* encaixado (*inlay*) nos corredores de ônibus urbanos, para recuperação destas pistas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo do estudo foi apresentar a forma inovadora de restaurar pavimentos flexíveis, aproveitando a estrutura existente, aplicando sobre este, o pavimento rígido conhecido como *Whitertopping*, pouco utilizado no Brasil.

Ao longo do desenvolvimento deste estudo ainda foram relacionadas às vantagens da implantação deste método tais como: vida útil próximo de vinte anos, melhoria do conforto e da segurança dos usuários e impacto reduzido para o meio ambiente, em relação ao pavimento flexível, predominante no Brasil, mas que traz diversos transtornos aos usuários, principalmente em relação as degradações que ocorrem na superfície, que com o passar da vida útil se tornam extremamente notórias, como: buracos e trilhas de roda.

Observa-se operações tapa buracos a todo instante, tanto em vias locais como em vias de trânsito rápido, pois o pavimento hoje predominante está necessitando de manutenções em prazos inferiores ao que a princípio deveriam atender, que são dez anos.

Confrontando os resultados obtidos neste estudo com o que temos em relação ao pavimento mais utilizado hoje em nosso país, é perceptível que nossas vias precisam urgentemente de melhorias, principalmente nossas estradas. Esta nova tecnologia denominada *Whitertopping* poderá ser a solução para as pistas de rolamento de todo o país.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Curso de Tecnologia de Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Concreto Portland, s.d. 91 slides, color. Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/Pavim_Concreto_Apres_Mod02 ABCP.pdf>.
- _____. **Pavimento de Concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Concreto Portland, s.d. 32 slides, color.
- _____. **Pavimento de Concreto é Alternativa Para Melhoria das Rodovias**. 2012. Disponível em: < <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/banco-de-pautas/pavimento-de-concreto-ealternativa-para-melhoria-das-rodovias/>>.
- _____. **Whitertopping em Cinco Passos**. 2015. Disponível em: < <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/whitertopping-em-cinco-passos/>>.
- _____. **Whitertopping – Praticidade e Economia na Recuperação de Rodovias**. 2010. Disponível em: < <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/banco-depautas/whitertopping-praticidade-e-economia-na-recuperacao-de-rodovias/>>.
- BATTAGIN, Arnaldo Forti. A Sustentabilidade do Concreto nas Vias. **Rodovias e Vias: Infraestrutura e Desenvolvimento**, Espírito Santo, não paginado, abr. 2012. Anual. Ano 13. Disponível em: < <http://viasconcretas.com.br/cms/wpcontent/uploads/2013/03/Ed064.pdf>>.
- BORGES, Clarissa Beatriz Sandoval. **Estudo Comparativo Entre Medidas de Deflexão com Viga Benkelman e FWD em Pavimentos da Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**. 2001. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/79447/188421.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- CARVALHO, Marcos Dutra de. Pavimento de Concreto: Reduzindo o Custo Social. **Vias Concretas**, São Paulo, p.1-17, mar. 2007. Disponível em: < http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2013/02/2007_Artigo_Pavimentode-concreto_Reduzindo-o-custo-social.pdf>.

- _____. Vantagens e Benefícios do Whitetopping e do Inlay na Reabilitação de Pavimentos. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, São Paulo, p.1-13, ago. 2012. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/cms/wpcontent/uploads/2013/03/Whitetopping-e-Inlay-Vantagens_Artigo.pdf>.
- CONCRETO Sobre Pavimento Asfáltico. s.d. Disponível em: <<http://viasconcretas.com.br/tecnologia/whitetopping/>>.
- Confederação Nacional do Transporte (CNT). **Pesquisa Rodoviária**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>.
- Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SP). **PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND APLICADO COM FORMAS DESLIZANTES**. São Paulo: Diretoria de Engenharia, 2007. 24 p. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-039_A.pdf>.
- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. (IPR. Plub.,714). Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf>.
- FAZILARI, Roberto Carlos. Pavimento de Concreto nos Corredores Metropolitanos. **Engenharia: TRANSPORTE EMTU/SP**, São Paulo, p.130-132, 2013. Edição 616. Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao616/616_troleibus.pdf>.
- GIUBLIN, Carlos Roberto. **Restauração de Pavimentos com Soluções a Base de Cimento**: Curitiba: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2007. 105 slides, color. 4º Encontro Técnico 2007 DER/PR. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/EncontrosTecnicos/4encontroTecnico/pavimentodeconcretowhitetoppingderpr090807.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2016. 12:06.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Estradas de Concreto: Uma Escolha Inteligente e Sustentável**: São Paulo, 2012. 18 slides, color. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/files_mf/barras_ligacao_transferencia_joao_batista.pdf>.
- NAKAMURA, Juliana. Whitetopping: Para Reabilitar Pavimentos. **Infraestrutura Urbana: Projetos, Custos e Construção**, São Paulo, não paginado, abr. 2011. Edição 13. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoestecnicas/13/artigo254352-2.aspx>>.
- _____. Whitetopping: Para Reabilitar Pavimentos. **Cobertura do Asfalto Desgastado com uma Capa de Concreto Proporciona Expectativa de Vida de Serviço de Cerca de 30 Anos a Pavimentos**, São Paulo, não paginado, abr. 2011. Edição 13. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/whitetopping-para-reabilitar-pavimentos-cobertura-do-asfalto-desgastado-com-254352-1.aspx>>.
- PAIVA, Alexandre Antonio Silva; GUIMARÃES, Antônio Carlos Rodrigues; SILVA, José Eudes Marinho da; CARNEIRO, Luiz Antônio Vieira. **CONSIDERAÇÕES SOBRE A EXECUÇÃO DE PAVIMENTO RÍGIDO NOS LOTES DA BR 101 A CARGO DO EXÉRCITO BRASILEIRO**. 2014. 13 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia, Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2014/01/trabalho-56.pdf>>.
- PITTA, Márcio Rocha. Whitetopping – A Evolução de Um Conceito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 4.,1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1999. p.723-730.
- VIEIRA, Glécia; VIZZONI, Ronaldo. Whitetopping. **Téchne**, São Paulo, não paginado, 2005. Mensal. Edição 102. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenhariacivil/102/artigo285517-1.aspx>>.
- VIZZONI, Ronaldo. **Pavimento de Concreto**: São Paulo: Associação Brasileira de Concreto Portland, 2015. 107 slides, color. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/Seminario_brazil_road_2015/Palestras/Pavimento_Concreto.pdf>.



COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETO ASFÁLTICO COM INSERÇÃO DE FLAKES DE PET

Mieka Arao¹

Michéle Dal Toé Casagrande²

Antônio Carlos Rodrigues Guimarães³

¹ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, mieka.arao@gmail.com

² Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, michele_casagrande@puc-rio.br

³ Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, guimaraes@ime.eb.br



RESUMO

Os materiais plásticos fazem parte do cotidiano e a preocupação com a destinação final adequada a resíduos plásticos, como o Polietileno Tereftalato (PET), vem aumentando. O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica da inserção de PET reciclado e triturado no concreto asfáltico. Foram inseridos flakes de PET em porcentagens variadas e de diferentes tamanhos e, também, houve a substituição parcial do agregado miúdo por pó de PET. Foram realizados ensaios mecânicos de Fluência, Estabilidade, Resistência à Tração, Módulo de Resiliência e Vida de Fadiga nas misturas com e sem PET. Os resultados dos ensaios mecânicos foram melhores nas misturas com o resíduo, dependendo dos teores e granulometrias do PET utilizado. O maior incremento nos parâmetros de resistência e da vida útil encontrado foi na mistura com 0,5% de flakes de PET de 10 mm e substituição em 2,5% do agregado miúdo por pó de PET. Portanto, a utilização de garrafas PET triturada no concreto asfáltico é uma opção viável tecnicamente e ambientalmente, já que seu reuso na pavimentação minimiza os problemas atuais de disposição final desse material e reduz o consumo de recursos naturais, como os agregados e ligantes asfálticos.

PALAVRAS-CHAVE: concreto asfáltico, Polietileno Tereftalato, flakes de PET

ABSTRACT

Plastic materials are part of daily life, and the concern about the appropriate final destination for plastic residues, such as Polyethylene Terephthalate, has been increasing. The objective of this paper is to assess the technical viability of inserting recycled ground PET in asphalt concrete. PET flakes of different sizes were inserted in varied ratios, and there was a partial replacement of fine aggregate with PET powder. The following mechanical tests were performed on the mixtures with and without PET: Flow and Stability Test, Tensile Strength Test, Resilient Modulus Testing, and Fatigue Life Test. The results of the mechanical tests were better for the mixtures with the residue, depending on the utilized PET's ratios and granulometry. The higher increase in the resistance parameters and in life cycle was found in the mixture with 0.5% of 10 mm PET flakes and replacement of 2.5% of the fine aggregate with PET powder. Therefore, the use of ground PET bottles in asphalt concrete is a technically and environmentally viable option, since its reutilization in paving minimizes the current issues of this material's final disposal and reduces the consumption of natural resources, such as aggregates and asphalt binders.

KEY WORDS: asphalt concrete, Polyethylene Terephthalate, PET flakes

1. INTRODUÇÃO

Os polímeros têm uma grande participação na composição dos resíduos sólidos urbanos (RSU), formando cerca de 20% em peso do total coletado em 2005. O Polietileno Tereftalato (PET) faz parte de 20% dos polímeros descartados, apesar da produção de PET ser de apenas 9% da fabricação de todos esses materiais. Essa discrepância acontece porque o PET é utilizado em embalagens de vida útil muito curta.

O consumo estimado no Brasil em 2016 é de 840 000 toneladas. Porém, a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET) estima que somente cerca de 50% desse material é reciclado. Além disso, o Ministério da Saúde regulamenta o uso de PET reciclado, restringindo o contato direto das embalagens recicladas como alimentos, bebidas, brinquedos, remédios e utensílios médicos.

A preocupação ambiental vem estimulando pesquisas, principalmente em relação à disposição final do PET e a redução da utilização de recursos naturais. O uso de garrafas PET no concreto foi estudado por Tawfik & Eskander (2006), Ochi et al. (2006), Yun-Wang et al. (2005).

A fabricação do concreto asfáltico utiliza recursos naturais não renováveis, como britas e ligantes asfálticos. A substituição parcial dos agregados por materiais reciclados e a modificação de asfalto para o melhoramento do comportamento das misturas são boas alternativas para contornar esse problema. O uso de ligantes modificados com polímeros, principalmente com borracha de pneu moída, melhora o comportamento do ligante e, conseqüentemente, da mistura asfáltica, tornando-a mais resistência à fadiga (Oda et al., 2001; Putman & Amirkhanian, 2004).

A reutilização de garrafas PET na pavimentação é interessante, pois é capaz de diminuir a quantidade de insumos para a fabricação do concreto asfáltico e reaproveitar o PET na mistura asfáltica. Existem mais pesquisas em relação à modificação de ligantes com PET (Hassani et al., 2005; Kalantar et al. 2010). Neste trabalho foi analisada a introdução de flakes de PET no concreto asfáltico e, também, a substituição parcial do agregado miúdo por pó de PET com o objetivo de comparar o comportamento das misturas sem e com inserção de PET.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Foram utilizados agregados de origem granítica, oriundos de uma jazida localizada no município de Magé, no Rio de Janeiro. Os agregados foram encaixados na Faixa C do DNIT. A caracterização dos agregados encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos Agregados

Ensaio	Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Limites
Abrasão Los Angeles	23%	35%	-	máx 40%
Densidade Real	2,7	2,8	2,74	-
Densidade Aparente	2,6	2,1	-	-
Absorção	0,75%	0,80%	-	-
Equivalente de Areia	-	-	78%	mín 35%
Adesividade (CAP 30/45 + DOPE)	Satisfatório	-	-	-
Sanidade	2,3	2,2	3,5	máx 10%

O ligante asfáltico utilizado é do tipo 30/45, fabricado pela empresa BR Distribuidora e foi cedido pela Prefeitura do Rio de Janeiro. A caracterização do ligante asfáltico encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do ligante asfáltico

Ensaio	Ligante 30/45		Limites
Penetração	36 mm		30 a 45
Ponto de Amolecimento	52 °C		mín 52
Viscosidade Brookfield	135º, SP 21, 20rpm	472,5 cp	mín 374
	150º SP 21 20 rpm	227 cp	mín 203
	177º SP 21 50 rpm	81,5 cp	76 a 285
Ponto de Fulgor	348 °C		mín 235
Ductilidade	>100 cm		mín 60
Solubilidade	99,9%		mín 99,5
Densidade	1,01		-
RTFOT	Penetração Retida	69%	mín 60
	Aumento do PA	4°C	máx 8
	Ductilidade	>100mm	mín 10
	Varição em Massa	-0,09%	máx 0,5

Os flakes de PET foram triturados através de um equipamento triturador da marca Radial LaFrance de modelo SG-500F. Esta máquina corta as garrafas PET limpas sem as suas bases e topos até que elas passem por uma peneira, que pode ser trocada. Assim, os flakes utilizados, apresentados nas Figuras 1 e 2, foram os passantes pelas peneiras de 2mm e 10mm.



Figura 1 – Flakes de PET de 2mm



Figura 2 – Flakes de PET de 10mm

O pó de PET utilizado nesta pesquisa foi fabricado em Campina Grande, na Paraíba, resultado de um método específico de trituração, em que se fabricam partículas finas de PET, como mostra a Figura 3.



Figura 3 – Pó de PET

Através da Metodologia Marshall, foi encontrado o teor ótimo de ligante asfáltico de 5,5%. A compactação dos corpos de prova foi feita por impactos, com 75 golpes em cada face.

Os flakes de PET foram inseridos na mistura asfáltica pelo processo seco, ou seja, foram adicionados na mistura juntamente aos agregados. Portanto, nas misturas em que os flakes foram colocados, houve a retirada da porcentagem de PET do total da mistura para que não houvesse o aumento do peso total da mistura.

Foram compactados 6 tipos de misturas: 0% de PET; 0,5% de flakes de PET de 2mm; 1,0% de flakes de PET de 2mm; 0,5% de flakes de PET de 10mm; 1,0% de flakes de PET de 10mm; 0,5% flakes de PET de 10mm com substituição de 2,5% de agregado miúdo convencional por pó de PET, como mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Misturas compactadas

M1	M2	M3	M4	M5	M6
Mistura sem adição de PET	0,5% de flakes de PET de 2mm	1,0% de flakes de PET de 2mm	0,5% de flakes de PET de 10mm	1,0% de flakes de PET de 10mm	0,5% de flakes de PET de 10mm + substituição de 2,5% do pó de pedra por pó de PET

A quantidade de cada material em cada mistura é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de material utilizado em cada mistura

Material	M1 (%)	M2 (%)	M3 (%)	M4 (%)	M5 (%)	M6 (%)
CAP 30/45	5,5	5,5	5,4	5,5	5,4	5,5
BRITA 1	8,5	8,5	8,4	8,5	8,4	8,5
BRITA 0	43,5	43,3	43,0	43,3	43,0	43,3
PÓ DE PEDRA	42,5	42,3	42,1	42,3	42,1	39,8
Flakes de PET	-	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
Pó de PET	-	-	-	-	-	2,5
Total (%)	100	100	100	100	100	100

2.2 Métodos

Os ensaios mecânicos realizados foram a Estabilidade e Fluência Marshall, Resistência à Tração por Compressão Diametral, Módulo de Resiliência e Vida de Fadiga.

Os ensaios de Estabilidade e Fluência foram realizados em uma prensa Marshall após um banho de 40 minutos a 60°C. Eles consistem na aplicação de uma carga de compressão sobre um corpo de prova cilíndrico através de cabeçotes curvos padronizados. A Estabilidade é a força máxima que o corpo de prova resiste e o deslocamento vertical total é denominado Fluência. Foram ensaiados 18 corpos de prova, sendo 3 para cada mistura.

A Resistência à Tração foi encontrada através da compressão diametral de um cilindro pelo ensaio desenvolvido pelo professor Lobo Carneiro, também conhecido como ensaio brasileiro. As normas que descrevem este ensaio são ABNT NBR 15087 e DNER-ME-138/94. Foram utilizados 18 corpos de prova para a determinação da Resistência à Tração, sendo 3 para cada mistura.

O Ensaio de Módulo de Resiliência realizado neste estudo consiste na aplicação de cargas repetidas durante um intervalo de tempo igual a 0,1s e 0,9s de descanso, no plano diametral vertical de um corpo de prova cilíndrico. Medidores de deformação (LVDTs) medem o deslocamento diametral recuperável. A norma que rege este ensaio é DNER-ME-133/94. Foram ensaiados 36 corpos de prova, sendo 6 para cada mistura. Antes da realização do experimento, os corpos de prova foram mantidos em estufa a 25°C durante 2 horas.

O ensaio de vida de fadiga utilizado foi feito através da compressão diametral à tensão controlada com a aplicação de uma carga com frequência de 1Hz, ou seja, são aplicadas 60 cargas por minuto com 0,1s de duração do carregamento repetido. A vida de fadiga (N) é definida como o número de aplicações de carga suficiente para levar a amostra à ruptura, sendo expressas através Equações 1 e 2.

$$N = k1 \left(\frac{1}{\sigma_t} \right)^{n1} \quad (\text{Equação 1})$$

$$N = k2 \left(\frac{1}{\Delta\sigma} \right)^{n2} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

N = Vida de fadiga ou número de aplicações de carga;

$\Delta\sigma$ = Diferença de tensões no centro do corpo de prova;

σ_t = tensão de tração;

k1, k2, n1 e n2 = constantes determinadas experimentalmente.

Foram utilizados 36 corpos de prova para a realização deste ensaio, sendo 6 para cada mistura.

O dimensionamento do pavimento foi feito a partir do software SisPav (Franco, 2007) para comparar a vida útil para cada revestimento asfáltico. Foi assumido uma rodovia no Rio de Janeiro, com um volume de tráfego $N = 10^7$. O pavimento com as suas camadas e propriedades adotadas no programa são mostradas da Figura 4.

<p>Revestimento asfáltico $\sigma = 0,337$ espessura = 5cm Modelo Elástico Linear MR, k1, k2 = variável</p>
<p>Base $\sigma = 0,350$ espessura = 12cm Modelo Elástico Linear MR = 1000 MPa</p>
<p>Sub-base $\sigma = 0,350$ espessura = 15cm Modelo Elástico Linear MR = 130 MPa</p>
<p>Subleito $\sigma = 0,400$ espessura = infinito Modelo Elástico Linear MR = 52 MPa</p>

Figura 4 – Camadas do pavimento dimensionado e as propriedades adotadas para o dimensionamento

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Parâmetros Volumétricos

Os parâmetros volumétricos são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros volumétricos

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Limites
Gmm(g/cm³)	2,496	2,479	2,463	2,457	2,432	2,457	-
Gmb (g/cm³)	2,395	2,375	2,361	2,369	2,342	2,369	-
Vv (%)	4,2	4,2	4,1	3,6	3,7	3,6	3-5
VCB (%)	12,8	12,9	12,6	12,7	12,5	12,7	-
VAM (%)	17,0	17,1	16,8	16,3	16,2	16,3	-
RBV (%)	75,3	75,2	75,3	78,0	77,2	78,0	75-82

Não houve mudança no volume de vazios (Vv) entre a mistura sem PET e a mistura M2 e a mistura M3 apresentou uma diminuição de somente 2% em relação às misturas M1 e M2. Isso pode ter acontecido pelo tamanho menor das partículas dos flakes, não influenciando muito nos parâmetros volumétricos.

Já nas misturas M4, M5 e M6, os volumes de vazios foram, respectivamente, cerca 14%, 12% e 14% menores do que aos da mistura sem PET. Os flakes de PET de 10 mm aumentaram o volume do material na mistura, fazendo com que o Vv caísse, porém, ainda dentro dos limites estabelecidos em norma.

3.2 Estabilidade e Fluência

Os resultados dos Ensaio de Fluência e Estabilidade são mostrados nas Figuras 5 e 6.

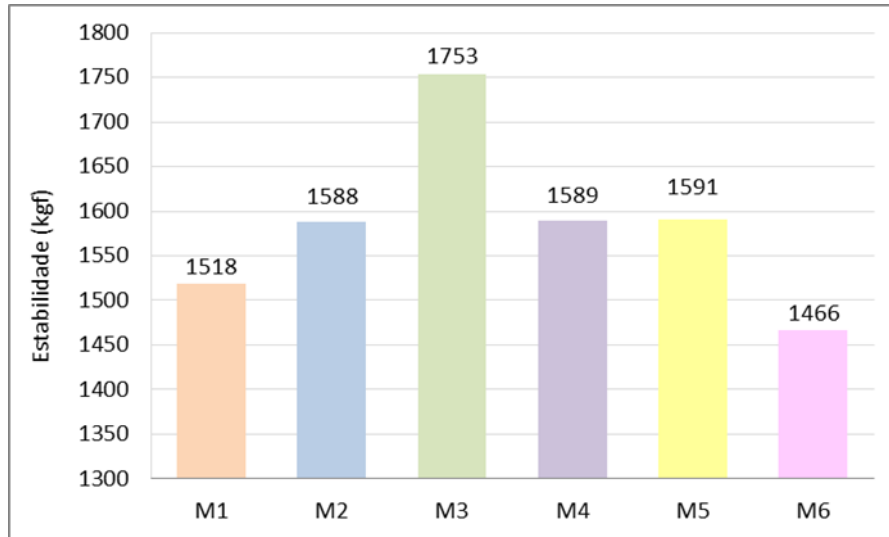


Figura 5 – Resultados dos ensaios de Estabilidade

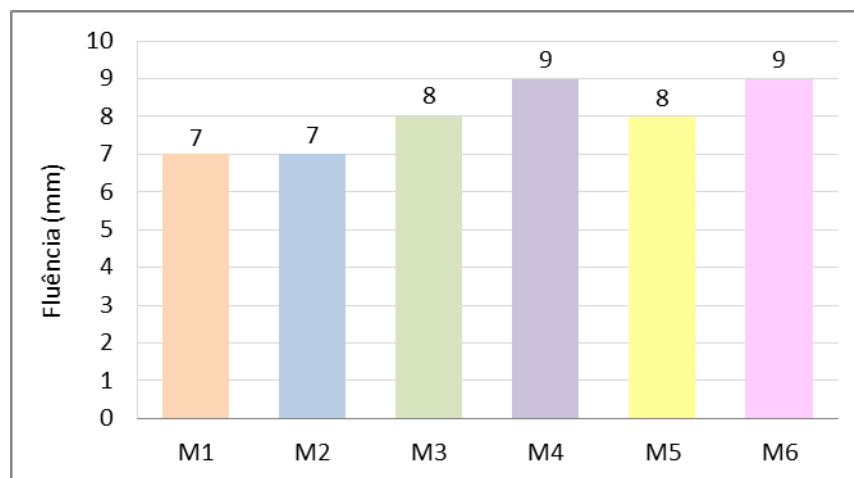


Figura 6 – Resultados dos ensaios de Fluência

Os resultados da Estabilidade podem ser considerados bons, pois estão mais de 300% acima do valor mínimo de Estabilidade estabelecido pelas normas, que é igual a 500kgf.

A mistura com 1,0% de flakes de PET de 2mm foi a que obteve o maior resultado, com aumento de mais de 15% em comparação à mistura sem adição de PET, já que as outras misturas obtiveram um aumento de apenas 5%.

As misturas M2, M3, M4 e M5 apresentaram aumento dos valores de Estabilidade, assim como os resultados encontrados por Mogghaddam & Karim (2012), que também apresentaram valores maiores de Estabilidade para as misturas com flakes de PET. Porém, a mistura com pó de PET obteve um resultado abaixo da mistura sem PET, com uma diminuição menor do que 2%.

Os resultados dos ensaios de Fluência apresentaram valores similares, com diferença de 1 a 2mm. Porém, os resultados um pouco mais elevados nas misturas M4 e M6 podem mostrar que a deformação dessas misturas é maior.

3.3 Resistência à Tração

Os resultados de Resistência à Tração são mostrados na Figura 7.

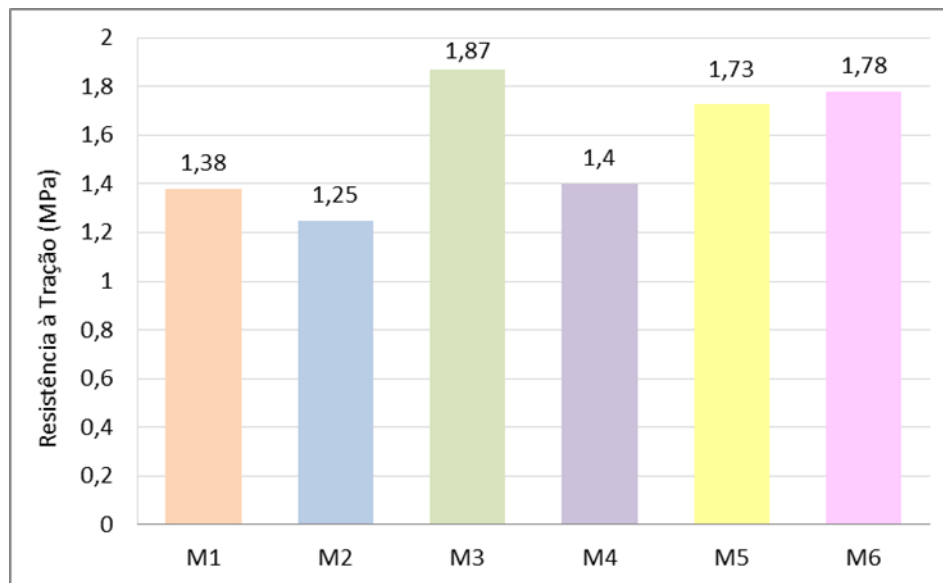


Figura 7 – Resultados dos ensaios de Resistência à Tração

Os resultados dos ensaios de Resistência à Tração podem ser considerados adequados, já que os valores encontrados foram pelo menos 90% maiores do que 0,65 MPa, que é o valor recomendado pela norma brasileira.

A mistura com 0,5% de flakes de PET de 2mm apresentou uma diminuição de 9% em relação à mistura convencional sem PET e a mistura com 0,5% de flakes de 10mm obteve um valor muito similar, com aumento de apenas 1%.

As misturas com 1,0% de flakes de PET de 2mm e 10mm e com 0,5% de flakes de PET de 10mm e utilização do pó de PET possuem altos valores de Resistência à Tração, sendo de 28 a 35% maior do que a mistura convencional.

Pode-se perceber a tendência de aumento da Resistência à Tração com o aumento do teor de PET. Esses resultados são em parte coerentes com o que foi encontrado por Mogghaddam et al. (2012), cujos valores de Resistência à Tração cresceram inicialmente, mas caíram a partir de 0,6% de PET. Porém, Mogghaddam et al. (2012) trabalharam com o revestimento asfáltico do tipo Stone Matrix Asphalt (SMA), que possui uma granulometria mais aberta e essa característica pode ter influenciado os valores de Resistência à Tração e, por isso, existe a diferença entre os resultados.

3.4 Módulo de Resiliência

Os resultados do Módulo de Resiliência são mostrados na Figura 8.

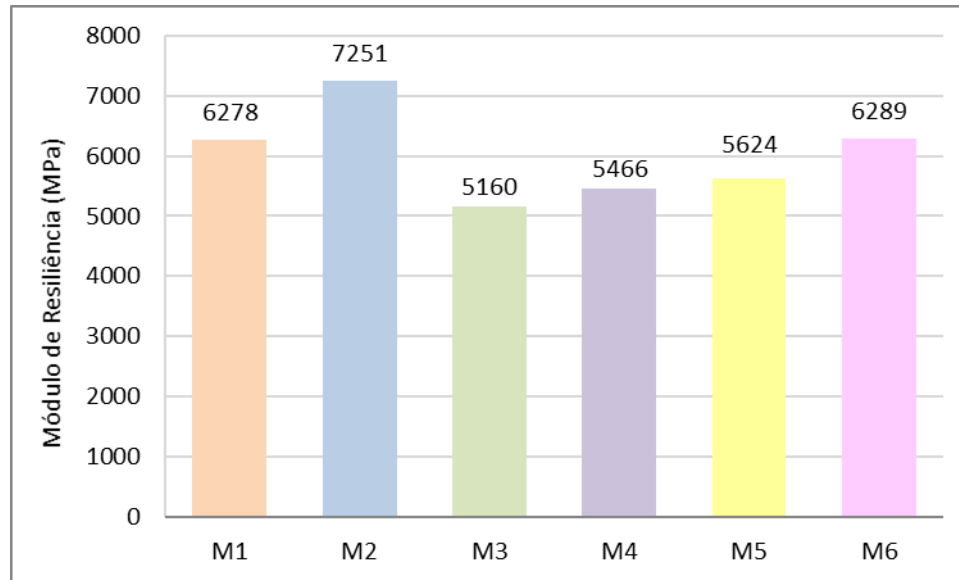


Figura 8 – Resultado os ensaios de Módulo de Resiliência

Os valores de Módulo de Resiliência encontraram-se muito próximos à mistura de controle, com diferença de no máximo 18%.

Nas misturas M3, M4 e M5, os Módulos de Resiliência foram menores em relação à mistura convencional M1. Esses valores são coerentes, já que na pesquisa de Moghaddam *et al.* (2012), foram obtidos resultados menores de MR quanto maior era a quantidade de flakes de PET na mistura SMA. Acredita-se que, como o ponto de fusão do PET é alto (aproximadamente 250°C), ele não derrete na mistura asfáltica, que chega a aproximadamente a 160°C, porém, o calor pode mudar algumas características do PET, pois alcança a temperatura de transição vítrea (70°C), o que deixa as misturas mais flexíveis e, por conseguinte, causando maiores deformações e menores valores de Módulo de Resiliência.

O valor de Módulo de Resiliência na mistura M6, quando foi utilizado o pó de PET, foi obtido um pequeno aumento da rigidez em relação à mistura M1, obtendo um resultado 0,2% maior que a mistura de controle.

3.5 Vida de Fadiga

O ensaio de fadiga foi realizado com três níveis de tensões 10%, 20% e 30% da Resistência à Tração. A Figura 9 representa a curva de vida de fadiga N vs diferença de tensão e a Figura 10 a curva N vs deformação específica.

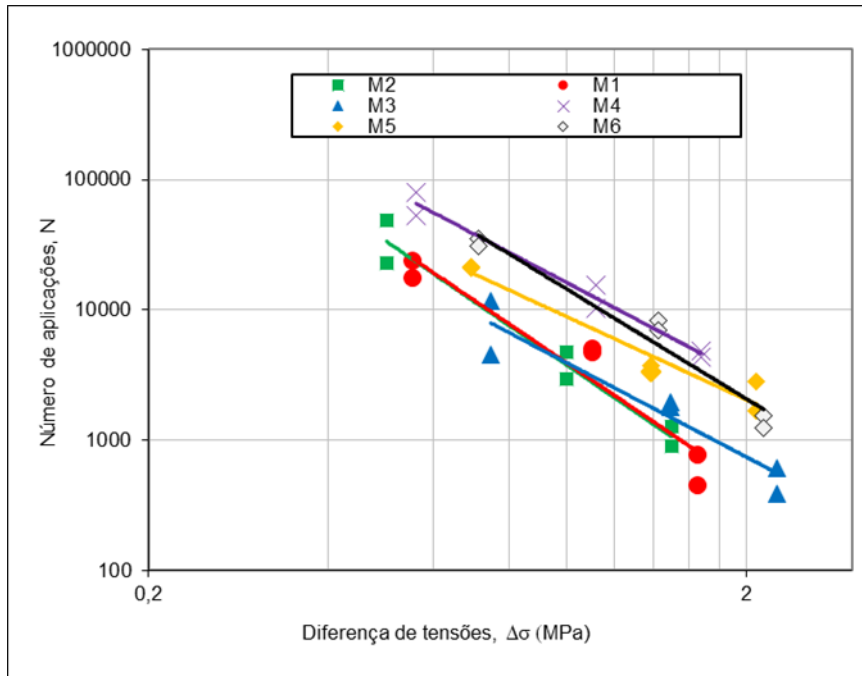


Figura 9 – Gráfico Número de aplicações x Diferença de tensões

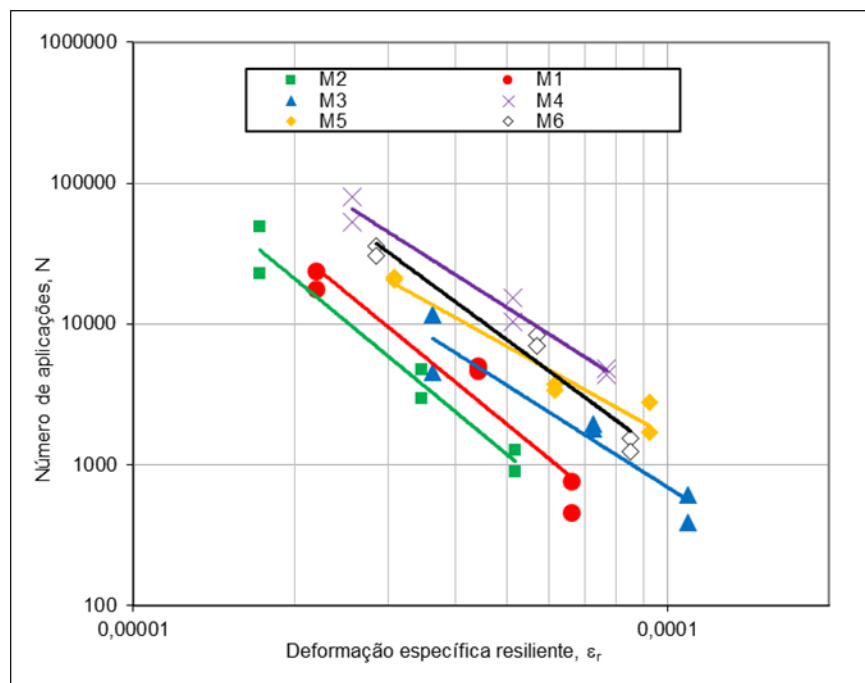


Figura 10 – Gráfico Número de aplicações x Deformação específica resiliente

Tabela 6 – Coeficientes encontrados através das curvas de vida de fadiga

Mistura	Nf = a1 (Δσ)^b1			Nf = k1 (εr)^k2		
	a1	b1	R ²	k1	k2	R ²
M1	3925,8	-3,112	0,9221	8,00E-11	-3,112	0,9221
M2	3793	-3,142	0,9637	4,00E-11	-3,142	0,9637
M3	3934,7	-2,408	0,9111	2,00E-07	-2,408	0,9111
M4	16213	-2,413	0,9771	5,00E-07	-2,413	0,9771
M5	8879	-2,121	0,9508	5,00E-06	-2,121	0,9508
M6	14467	-2,803	0,9584	7,00E-09	-2,803	0,9584

A partir das curvas de fadiga, percebe-se que a mistura M4, com 0,5% de PET de 10 mm, apresentou, a priori, um melhor comportamento. Em comparação à mistura convencional M1, apenas a mistura M2 apresentou pior resistência à fadiga.

Existe uma tendência de se comparar as curvas de fadiga diretamente no gráfico, porém, isso só é válido quando as diferenças de tensões são as mesmas. Assim, é necessário utilizar outros métodos de comparação, como, por exemplo, a simulação do comportamento dos pavimentos a partir de softwares de dimensionamento, inserindo os valores de Módulo de Resiliência e os parâmetros da curva de vida de fadiga, que foram encontrados pelos ensaios realizados nas misturas asfálticas.

3.5 Dimensionamento do Pavimento

O software de dimensionamento SisPav foi utilizado para encontrar a vida útil do pavimento, variando apenas a camada de revestimento asfáltico. Os resultados encontrados encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Vida útil do pavimento encontrado pelo SisPav

Mistura	Vida útil em anos
M1	2,2
M2	1,4
M3	14,7
M4	157,4
M5	73,2
M6	52,6

Pode-se observar que houve um aumento muito significativo na vida útil das misturas M3, M4, M5 e M6, inclusive, as três últimas misturas possuem uma vida útil tão elevada que poderia considerar que o pavimento está superdimensionado. Portanto, seria possível até aumentar o volume de tráfego do pavimento para muito pesado.

Deve-se levar em consideração que o software SisPav estuda o comportamento da estrutura do pavimento em relação aos possíveis defeitos, como as trincas por fadiga e a deformação permanente, logo, os defeitos causados pelo envelhecimento natural do pavimento não são representados no dimensionamento, por isso, essa vida útil tão elevada não é “real”, porém, mostra que o comportamento das misturas M4, M5 e M6 são melhores do que as das misturas M1, M2 e M3.

Deste modo é possível concluir que as misturas com 0,5% de flakes de PET 10 mm (M4), 1,0% de PET de 10 mm (M5) e 0,5% de flakes 10 mm e com substituição de 2,5% do pó de pedra por pó de PET (M6) de fato melhoraram o comportamento mecânico das misturas asfálticas em relação à fadiga. Relacionando estes resultados com os de Módulo de Resiliência, pode-se considerar que a mistura M6 com 0,5% de flakes de PET e substituição do filler pelo pó de PET em 2,5% na granulometria foi a mistura mais adequada, já que apresentou um valor de MR muito próximo ao da mistura convencional, assim, o seu comportamento em relação à deformação permanente pode ser melhor do que as misturas M4 e M5.

3.7 Estimativa de quantidade de PET a ser utilizada na pavimentação

A ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET) estimou que, em 2016, a quantidade de garrafas PET consumidas no Brasil, estimulado pelos Jogos Olímpicos no Rio de Janeiro, é estimado em 840000 toneladas. Assim, é interessante realizar uma estimativa da quantidade de PET que poderia ser reciclado com utilização na pavimentação. Este cálculo foi feito considerando uma rodovia com duas faixas de rolamento com 6 metros de largura cada, espessura da camada de revestimento asfáltico de 5 cm e o peso da garrada PET com capacidade de 2 litros igual a 57 gramas.

A Tabela 8 apresenta a quantidade de PET que pode ser reutilizada em uma rodovia por quilômetro de extensão.

Tabela 8 – Quantidade de PET utilizado em 1km de rodovia

Mistura	Quantidade de PET (kg)	Quantidade de garrafas PET
M2	7640	134029
M3	15279	268058
M4	7640	134029
M5	15279	268058
M6	23723	416192

Estes resultados são interessantes, pois, em um quilômetro de rodovia, poderiam ser reutilizados cerca de 0,002% do total do consumo estimado de garrafas PET em 2016.

4. CONCLUSÕES

Baseados nos resultados dos ensaios apresentados e analisados previamente, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- A utilização de PET influenciou positivamente as misturas asfálticas, porém, o comportamento foi diferente em relação ao tamanho e aos teores de flakes de PET e a substituição do agregado miúdo pelo pó de PET.
- Em relação aos parâmetros volumétricos, todas as misturas se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pelo DNIT de volume de vazios (V_v) e de relação betume vazios (RBV);
- Nos ensaios de Estabilidade e Fluência Marshall, observou-se que todos os resultados de Estabilidade e Fluência estão de acordo com os limites estabelecidos em norma. A mistura M3 apresentou o valor de Estabilidade mais alto e uma Fluência baixa, significando que essa mistura é mais rígida e possui uma deformação menor. As misturas M2, M4 e M5 apresentaram um resultado de Estabilidade um pouco maior do que a mistura M1, porém, muito similares entre si, mostrando que não houve muita diferença neste parâmetro;
- Nos ensaios de Resistência à Tração, as misturas M3 e M5 alcançaram valores mais altos de resistência, o que indica um aumento de resistência em função do aumento de flakes de PET. Além disso, todas as misturas apresentaram valores acima do preconizado em norma;

- Os valores de Módulo de Resiliência encontrados foram muito similares, com exceção da mistura M2, que apresentou um resultado maior. As misturas M3, M4 e M5 obtiveram menores valores de MR, em relação à M1. Essa diminuição do MR pode ocorrer porque as misturas asfálticas chegam a temperaturas aproximadas de 160°C, enquanto que o ponto de transição vítrea do PET é de 70°C, o que pode mudar as propriedades do polietileno tereftalato e, assim, deixar as misturas mais flexíveis e com valores de MR menores. Na mistura M6, entretanto, a presença de pó de PET aumentou um pouco o valor de MR, deixando a mistura mais rígida;
- Nos ensaios de vida de fadiga, observou-se que a mistura M4 e M6 obtiveram curvas mais favoráveis. Porém, como as diferenças de tensões não eram as mesmas em todas as misturas, apenas os resultados deste ensaio não são conclusivos para indicar o comportamento em relação à fadiga;
- Para avaliar o comportamento das misturas, foi realizado o dimensionamento dos pavimentos pelo software SisPav. Assim, notou-se que as misturas M4, M5 e M6 resultaram em vidas úteis muito altas, o que indicou que essas misturas possuíam o melhor comportamento em relação à fadiga, enquanto que, nos mesmos carregamentos e na mesma estrutura, as outras misturas obtiveram vidas úteis mais curtas.

Assim, foi possível concluir que a utilização de PET, tanto em forma de flakes, como na forma de pó de PET, nas misturas asfálticas do tipo CBUQ, foram positivas, principalmente no seu comportamento em relação à vida de fadiga. A mistura M2 não possuiu um bom comportamento, porém, as misturas M4, M5 e M6, podem ser consideradas muito eficientes.

Portanto, pode-se considerar que a mistura com 0,5% de flakes de PET de 10 mm e com substituição de 2,5% do pó de pedra por pó de PET seria a mais indicada, já que houve melhoria nos resultados mecânicos e, por conseguinte, aumento dos parâmetros mecânicos. Além disso, é a mistura que mais reutilizou garrafas PET, já que, em uma rodovia de duas faixas com 6 metros cada, esta mistura reutiliza mais de 400 mil garrafas PET de dois litros por quilômetro, isto é, possuem uma boa influência no aspecto ambiental e socioeconômico. Este fato contribui para a ratificação da possibilidade de utilização de PET em misturas asfálticas na camada de rolamento, podendo influenciar em projetos futuros. Além disso, é capaz de dar uma utilização nobre a este material, contribuindo com a redução do consumo dos recursos naturais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15087**: Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, **ME 133/1994**. Misturas betuminosas-determinação do módulo de resiliência. Norma rodoviária – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, **ME 138/94**. Misturas Asfálticas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- FRANCO, F. A. C. P. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2007.
- HASSANI, A.; GANJIDOUST, H.; MAGHANAKI, A. A. **Use of plastic waste (polyethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregates replacement**. J. Waste Managements and Research, v. 23, n. 4, p.322–327, 2005.
- KALANTAR, Z. N. **Properties of bituminous binder modified with waste polyethylene terephthalate**. Malaysia Universities Transportation Research Forum and Conferences, 2010.
- MOGHADDAM, T. B.; KARIM, M. R. **Properties of SMA mixtures containing waste polythylene terephthalate**. World Academy of Science, Engineering and Technology, v. 6, p. 612-622, 2012.
- MOGHADDAM, T.B.; KARIM, M.R.; TAMALKHANI, S.; **Dynamic Properties of stone mastic asphalt mixtures containing waste plastic bottles**; Construction and Building Materials, v. 34, p. 236-242, 2012.
- OCHI, T.; OKUBO, S.; FUKUI, K.; **Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber**; v. 29, p. 448-455, 2007.
- ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J.L.; **Borracha de Pneus como Modificador de Cimentos Asfálticos para Uso em Obras de Pavimentação**; Acta Scientiarum, v.23, n. 6, 2001.
- PUTMAN, B.J.; AMIRKHANDIAN, S.N.; **Utilization of waste fibers in stone matrix asphalt mixtures**; Journal Material Sciences, v. 40, p. 265-274, 2004.
- TAWFIK, M.E.; ESKANDER, S.B.; **Polymer concrete from marble wastes and recycled poly(ethylene terephthalate)**; Journal of Elastomers and Plastics, v. 38, p. 65-79, 2006.
- YUN-WANG, C.; DAE-JOONG, M.; JEE-SEUNG, C.; SUN-KYU, C.; **Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete**; v. 35, p. 776-781, 2005.

Submissão de Trabalhos Técnicos para a Revista Pavimentação

- 1. A Revista PAVIMENTAÇÃO é uma publicação técnica e científica de divulgação da ABPv. As contribuições para a revista devem ser de caráter exclusivamente técnico e estão abertas aos sócios e aos profissionais da Engenharia Rodoviária, Ferroviária e Aeroportuária nacional e internacional.
- 2. A Revista pode também apresentar eventualmente matérias especiais redigidas pelo seu corpo técnico editorial e pela diretoria da ABPv como forma de divulgação de opiniões ou comentários considerados relevantes como “voz” da ABPv.
- 3. Os artigos e contribuições como nota técnica, inéditos, podem ser enviados em qualquer época do ano para serem publicados em uma das quatro edições anuais ou até no ano seguinte dependendo do número de matérias selecionadas.
- 4. Os trabalhos, sejam científicos, sejam técnicos ou de outra natureza encaminhados para eventual publicação, serão submetidos a avaliação de três profissionais que compõem o Comitê Técnico-Científico da Revista, escolhidos de acordo com o perfil do material a ser julgado. Aos avaliadores não será dado a conhecer os autores do artigo ou trabalho antes da avaliação e também é vedada a divulgação para os autores da identidade dos avaliadores.
- 5. Os avaliadores recebem da ABPv um questionário indicativo dos itens a serem avaliados em cada contribuição para Revista PAVIMENTAÇÃO, podendo sugerir três opções de encaminhamento:
 - O trabalho é aceito para publicação;
 - O trabalho não é aceito para publicação e será então devolvido aos autores;
 - O trabalho poderá vir a ser aceito caso os autores concordem em fazer algumas modificações sugeridas por um ou mais avaliadores.
- 6. Cabe à Diretoria da ABPv julgar os casos omissos e autorizar a publicação de contribuições de caráter não técnico, eventualmente, em função dos assuntos abordados e da disponibilidade de espaço.
- 7. O resultado da avaliação de qualquer material encaminhado à Revista PAVIMENTAÇÃO será levado ao conhecimento dos autores dos mesmos informando o destino que será dado à sua contribuição que pode ser: publicação imediata no próximo número a ser lançado, publicação em número subsequente devido ao excesso de contribuições ou não publicação.
- 8. O Autor ou autores das contribuições aceitas para publicação devem concordar com a reprodução de seu material sem nenhum direito a qualquer custo de direitos autorais já que a ABPv é uma entidade sem fins lucrativos e a Revista PAVIMENTAÇÃO destina-se preferencialmente aos sócios e não será utilizada para venda com fins lucrativos.
- 9. As contribuições para a Revista PAVIMENTAÇÃO devem ser encaminhadas de preferência por meio digital, podendo estar em formato PDF somente na fase de julgamento pelo Comitê. Os originais deverão ser produzidos em programa Microsoft Word. As figuras deverão ser fornecidas em separado, com resolução mínima de 300dpi. Caso a foto seja digital, a resolução deverá ser de no mínimo de 3.2 mega pixels. Não sendo as fotos do(s) autor (es), este(s) será(ão) responsável(eis) por declarar os créditos das mesmas e obter a autorização para publicação. Nos gráficos, evitar utilizar cores e dar preferência a símbolos que possam distinguir claramente as informações relevantes da figura. Nas tabelas não devem ser utilizadas formatações, bordas ou sombreamentos. As tabelas devem ser bem nítidas, identificadas com numeração própria e título. As equações podem ser criadas por um aplicativo externo, podem ser feitas com fontes de símbolos ou com o editor de equações do próprio programa usado para o trabalho. Em qualquer caso, elas devem ser numeradas consecutivamente ao longo do documento. As unidades deverão ser expressas no SI.
- 10. As contribuições podem ser de no mínimo 2 e de no máximo 15 páginas em formato A4, editadas em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. Número maior de páginas poderá ser aceito em casos excepcionais a critério da Editoria da Revista.
- 11. Os textos deverão ser escritos em português, em linguagem adequada e correta, sendo de responsabilidade do(s) autor(res) a revisão ortográfica, as referências bibliográficas devem seguir o padrão ABNT, tipo por citação de sobrenome e ano (ex. MATHEUS, 1994) e preferencialmente os artigos devem apresentar um resumo de 200 a 300 palavras, resumo em inglês de igual conteúdo do resumo em português (ABSTRACT) e indicar de 3 a 5 palavras-chaves. Artigos em outros idiomas podem eventualmente serem aceitos a critério da Editoria da revista.
- 12. Estas especificações podem ser eventualmente revistas a critério da Editoria da Revista e da Diretoria da ABPv a qualquer tempo, cabendo aos artigos e contribuições já submetidos se adequarem seguindo as regras existentes à época da submissão do seu material. Associe-se e acesse todas as edições da revista na íntegra. Colabore para a manutenção da Revista Pavimentação enviando seu artigo para abpv@abpv.org.br, sugestões e se associando à ABPv.



www.abpv.org.br

