

# **AVALIAÇÃO DA ADESIVIDADE E DO DESGASTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS PREPARADAS COM LIGANTES ASFALTO-BORRACHA**

**Luciano Pivoto Specht<sup>1</sup>, Jorge A. Pereira Ceratti<sup>2</sup>, Lélío A. Teixeira Brito<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> UNIJUÍ - Universidade Regional do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil  
Ijuí – RS – Brasil

<sup>2</sup> UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Porto Alegre – RS – Brasil

E-mail para contato: specht@unijui.tche.br

## **RESUMO**

Um dos aspectos que condicionam o bom desempenho de um revestimento em concreto asfáltico é a sua capacidade de se manter coesa; esta propriedade depende das características de adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados. A verificação da adesividade ligante/agregados é fundamental para garantir a resistência à desagregação destas misturas. Ensaios muito simples, geralmente visuais, têm sido utilizados no Brasil; entretanto é sabido que estes ensaios de natureza empírica não representam de maneira adequada às solicitações que levam à perda de adesividade que ocorrem em campo, bem como não representam o efeito de diferentes ligantes e agregados. Recentemente, devido às preocupações ambientais, tem-se questionado a respeito da destinação ou deposição de pneus inservíveis em todo o mundo. Dentre as alternativas possíveis estão a utilização de pneumáticos como material modificador de ligantes asfálticos. Este artigo apresenta uma pesquisa experimental onde são avaliadas as propriedades de adesividade e desgaste de misturas com diferentes ligantes asfalto-borracha em comparação com uma mistura convencional, através das metodologias Lottman Modificada (AASHTO T 283-89) e Cântabro (CEC 325/86), respectivamente.

## **ABSTRACT**

An important feature of asphalt mixture layer performance is the ability to keep its cohesion; this property depends on the bonding between the asphalt binder and the aggregates. The verification of adhesion/cohesion between binder and aggregate is fundamental to avoid the stripping on asphalt concrete. Very simple tests, usually visual, have been used in Brazil; however it is known that these empirical tests do not represent appropriately the stripping on field, and they do not show the effect of different binders and aggregates. Recently, due to environmental concerns, it has been questioned all over the world about discarded tires destination. Among the possible alternatives is its use as an asphalt binder modifier. This paper presents an experimental research where it is evaluated the moisture effect and mass loss on mixtures with several asphalt rubber binders, in contrast with a conventional mixes. The Modified Lottman (AASHTO T 283-89) and Cântabro (CEC 325/86) methodologies were used, respectively.

## **1. INTRODUÇÃO**

Podemos definir pavimento como uma estrutura formada por múltiplas camadas capazes de suportar a ação danosa do tráfego e do meio ambiente. O desempenho de um pavimento é condicionado por um complexo conjunto de fatores, dentre eles as propriedades físicas e mecânicas das camadas que o constituem.

As camadas de revestimento incluem componentes de alto custo e merecem atenção especial. Dentre os fatores que influenciam o desempenho de uma camada asfáltica pode-se citar: características dos materiais, dosagem, condições de compactação, processo construtivo e plano de manutenção e restauração.

Com o aumento do custo dos materiais de construção, notavelmente os derivados de petróleo, e redução da disponibilidade de materiais naturais, aliado às novas exigências/limitações

impostas na construção e manutenção de pavimentos, é imperativo que os pesquisadores busquem materiais que possam apresentar bom desempenho com custo relativamente baixo.

A busca por novos materiais, ou materiais ditos não convencionais, tem motivado inúmeras pesquisas, principalmente com resíduos domésticos e industriais. Dentre estes resíduos podemos citar o vidro, a escória de aço, a cal de carbureto, cinzas diversas e materiais borrachosos como polietileno, borracha natural e borracha de pneus usados.

A utilização de borracha de pneus em pavimentos asfálticos teve suas primeiras aplicações paralelamente na Suécia e nos Estados Unidos no final da década de 60, apesar de já se ter relatos na literatura sobre a utilização de borracha em ligantes asfálticos do início do século passado (RRL, 1962). Existem várias maneiras de se adicionar borracha às misturas asfálticas: como modificador do ligante (*wet process*), como agregado (*dry process*) e uma terceira denominada processo misto.

Este trabalho tem como objetivo avaliar, através da Metodologia Lottman Modificada (AASHTO T 283-89) e Cântabro (CEC 325/86), as características de adesividade e perda por abrasão de misturas asfálticas preparadas com ligantes modificados com três teores de borracha de pneus (6, 12 e 18%) em comparação com um mistura de referência (sem borracha).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.2. Adesividade de Misturas Asfálticas**

A perda de adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados de uma mistura betuminosa pode ser associada a dois mecanismos: perda de adesão e perda de coesão. A perda de adesão está ligada à entrada de água entre o ligante e o agregado e ao descolamento do filme asfáltico da superfície do agregado. A perda de coesão está ligada à redução de rigidez do cimento asfáltico e ao enfraquecimento das ligações ligante/agregado. Estes dois mecanismos estão intimamente relacionados e, então, o dano causado pela umidade em misturas asfálticas é a combinação entre estes dois fatores.

Inúmeros fatores influenciam a adesividade ou o dano induzido pela umidade. Hicks (1991) resumizou e classificou estes fatores que estão apresentados na Tabela 1. Um dos fatores importantes é o volume de vazios; misturas com volume de vazios entre 6 e 13% (aproximadamente) não são nem impermeáveis nem drenantes e são as mais susceptíveis ao dano por umidade induzida. Outro fator que deve ser mencionado é a eficiência do sistema de drenagem de um pavimento, capaz de evitar o acúmulo de água junto ao revestimento e a umidade ascendente por capilaridade.

Dentre as várias metodologias aplicáveis à verificação das características de adesividade de misturas asfálticas estão os métodos empíricos que se baseiam na análise visual onde o contato entre o ligante asfáltico e o agregado é avaliado visualmente e procura-se correlacionar os resultados com o possível desempenho da mistura em campo. Exemplos são os métodos DNER – ME 78/94 e DNER – ME 79/94. O outro grupo de ensaios é baseado no comportamento mecânico das misturas onde amostras de concreto asfáltico são submetidas a um condicionamento e/ou esforço mecânico para provocar de forma acelerada ou simular o que ocorre em campo. Neste grupo estão, dentre outras, as Metodologias Lottman Modificada

(AASHTO T 283-89) e Cântabro (CEC 325/86). Moura (2001) traz uma revisão a respeito destas metodologias e uma pesquisa onde são avaliados os efeitos de aditivos químicos e da cal na adesividade de misturas asfálticas densas.

**Tabela 1:** Fatores intervenientes nas características de adesividade

Fonte: Hicks 1991

Fator	Característica Desejável
1. Agregados a) textura superficial b) porosidade c) mineralogia d) cobertura do agregado por pó e) umidade superficial f) composição química superficial g) fíler mineral	áspero depende do tamanho do poro agregados básicos são mais resistentes limpo seco capaz de formar pontes de hidrogênio aumenta a viscosidade do ligante
2. Cimento Asfáltico a) viscosidade b) química c) espessura filme	alta nitrogênio e fenóis alta
3. Tipo de Mistura a) vazios b) granulometria c) teor de ligante	muito baixo ou muito alto muito aberta ou muito densa alto
4. Condições Climáticas a) temperatura b) precipitações durante construção c) precipitações após construção d) ciclos de gelo/degelo	quente nenhuma mínima mínimo
5. Tráfego a) volume de tráfego	baixo tráfego

Kandhal (1992) apresenta um estudo sobre a susceptibilidade de misturas asfálticas ao dano induzido pela umidade. O autor afirma que a Metodologia Lottman Modificada (AASHTO T 283-89) tem sido recomendada em vários estados americanos para avaliar o potencial de desagregação de misturas asfálticas. São feitas recomendações sobre a utilização de aditivos e da cal como melhoradores da adesividade das misturas.

## 2.2. Utilização de Borracha em Misturas Asfálticas

A utilização de borracha reciclada em misturas asfálticas pode ser feita sob dois processos diferentes: processo seco e úmido. No processo seco a borracha é utilizada como parte do agregado, diretamente na mistura asfáltica (tipicamente CBUQ) cuja mistura é conhecida como Rubber Aggregate. No processo úmido o pó de borracha é adicionado ao ligante asfáltico (6 a 25%) e posteriormente utilizado em serviços de pavimentação como SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer), SAM (Stress Absorbing Membrane), CPA (Camada Porosa de Atrito), CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) etc. Ao ligante modificado dá-se o nome de Asphalt Rubber ou Asfalto-Borracha.

Muitos materiais poliméricos com alto peso molecular (como as borrachas – polímeros hidrofóbicos) podem apresentar variação de volume, quando imersos em materiais com baixo peso molecular. O que acontece é que as partículas de borracha aumentam de volume (em média cinco vezes, segundo RRL, 1962) absorvendo, pelas cadeias de polímeros, certos óleos aromáticos contidos no cimento asfáltico, tornando-o mais dúctil, mais viscoso e com menor

suscetibilidade térmica. Em contrapartida, são transferidas para o asfalto através do negro de fumo, algumas características químicas das borrachas vulcanizadas como inibidores de raios ultravioleta e antioxidantes.

O inchamento da borracha é uma difusão e não uma reação química (não há ligações livres nas borrachas vulcanizadas para interação química com o asfalto) e resulta do movimento de líquidos em direção ao interior da matriz do polímero. Logo após sua imersão em meio oleoso, a superfície da borracha fica com alta concentração de líquidos. Com o passar do tempo estes líquidos movem-se para o interior da partícula, sendo este movimento controlado pela compatibilidade molecular da borracha e do líquido, o tempo de imersão e a viscosidade do líquido. As fortes atrações moleculares nas cadeias da borracha evitam sua decomposição em meio oleoso; entretanto, pode haver, em casos de longa exposição em condições favoráveis, uma degradação do polímero (Newcomb et al., 1994; Epps, 1997).

Um dos fatores que difere a utilização em larga escala dos asfaltos modificados por SBS e EVA e por borracha de pneu moída é a estabilidade. Quando se prepara uma mistura em planta industrial (SBS e EVA) o produto pode ficar estocado e entregue posteriormente na obra. Existe preferência pela preparação do ligante modificado com borracha tipo *just in time*, preparada no canteiro de obras e utilizada imediatamente.

No Brasil está sendo utilizado o processo úmido através da tecnologia *terminal blending*, onde a mistura é efetuada em uma unidade central e transportada até o local de aplicação (Specht, 2004). Estima-se que já existam aproximadamente 700km de rodovias, utilizando em suas camadas de revestimento, esta tecnologia.

As principais utilizações dos ligantes asfálticos modificados com borracha em pavimentação são: ligante para macadame de penetração, selantes para juntas e trincas, concreto asfáltico usinado a quente, concreto asfáltico poroso e membranas tipo SAM e SAMI.

O processo úmido, usado nos últimos 40 anos, tem sido pesquisado e testado extensivamente por departamentos de transportes nos cinco continentes. Na Europa a ênfase dada ao asfalto-borracha é, principalmente, para utilização como ligante de concreto asfáltico poroso, o qual reduz de forma expressiva o nível de ruído e aumenta a segurança em pista molhada (Sainton, 1990; RPA, 2000).

### **3. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

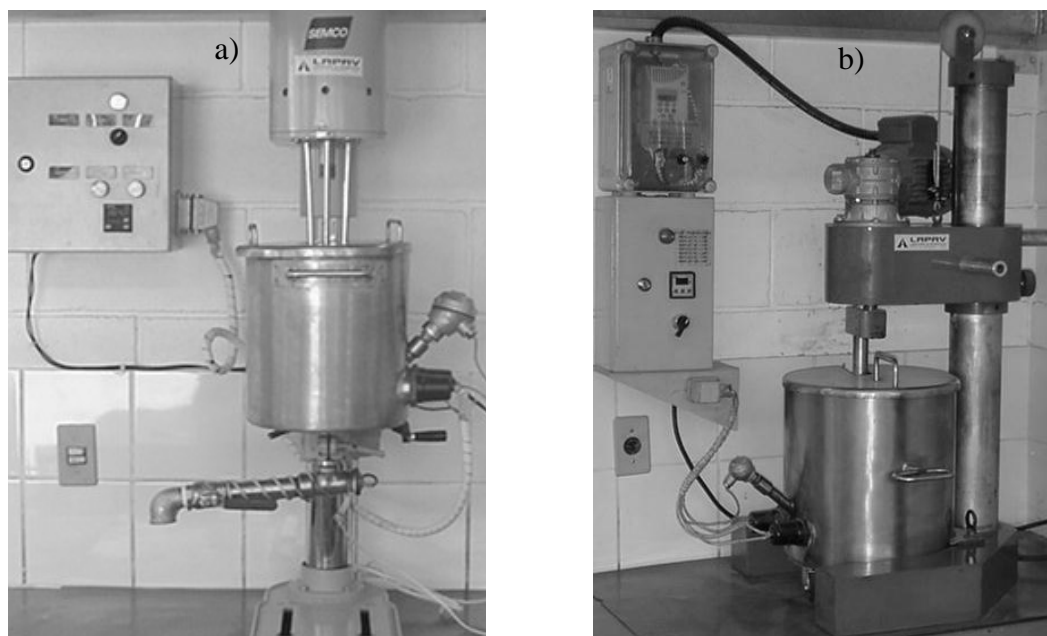
#### **3.1. Planejamento do Experimento**

O planejamento do experimento contempla a preparação, em laboratório, de 3 ligantes asfalto-borracha com teores de 6, 12 e 18% de borracha reciclada de pneus (em relação à massa do ligante), além da dosagem de misturas em concreto asfáltico com tais ligantes. Foi feito também a dosagem de uma mistura com ligante convencional para comparação de resultados.

A mistura do ligante convencional CAP 20 e da borracha se deu em uma cuba térmica ( $T=180^{\circ}\text{C}$ ) e com misturador de alto cisalhamento (4000 RPM) durante 45 minutos (Figura 1-a).

O concreto asfáltico foi projetado seguindo as recomendações do Asphalt Institute (1995). A

faixa granulométrica adotada foi a IV B<sup>1</sup>, com tamanho máximo de granulares de 19mm. As amostras foram preparadas em um misturador mecânico e em cuba aquecida com óleo térmico (Figura 1-b); a compactação foi realizada por um compactador automático com 75 golpes por face. As variáveis de respostas medidas foram a Resistência Retida à Tração e a Perda de Massa das misturas com borracha e de referência. Maiores detalhes dos equipamentos e técnicas utilizados são detalhados por Specht (2004).



**Figura 1:** Equipamentos utilizados para preparo das amostras:  
a) misturador asfalto-borracha b) misturador de concreto asfáltico

As propriedades das misturas estudadas estão apresentadas na Tabela 2. Nota-se que, como critério para definição do ligante foi adotado o volume de vazios de 4%. Specht e Ceratti (2004) discutem tais dados em artigo publicado no 17º Encontro do Asfalto.

**Tabela 2:** Propriedades das misturas preparadas com ligante convencional e asfalto borracha

Variável	Especificação	Ligante Utilizado			
		CAP 20	AB <sup>3</sup> 6%	AB <sup>3</sup> 12%	AB <sup>3</sup> 18%
<i>Teor de Borracha no Ligante (%)</i>	--	0,00	6,00	12,00	18,00
<i>Teor de Ligante de Projeto (%)</i>	--	4,75	5,15	5,75	6,25
<i>Volume de Vazios (%)</i>	3 a 5 <sup>1</sup>	4,00	4,00	4,00	4,00
<i>Relação Betume Vazios (%)</i>	75 a 82 <sup>1</sup>	75,00	75,00	78,00	78,00
<i>Vazios do Agregado Mineral (%)</i>	>14 <sup>1</sup>	15,80	16,50	18,00	19,00
<i>Massa Específica Máxima Teórica (kN/m<sup>3</sup>)</i>	--	2,63	2,62	2,59	2,57
<i>Massa Específica Aparente (kN/m<sup>3</sup>)</i>	--	2,53	2,50	2,49	2,47
<i>Índice de Lamelaridade (DAER 108/01)</i>	< 50 <sup>1</sup>	33,62	33,62	33,62	33,62
<i>Passante #200</i>	4 a 10 <sup>1</sup>	5,97	5,97	5,97	5,97
<i>Relação #200/Betume (%)</i>	0,8 a 1,6 <sup>2</sup>	1,26	1,16	1,04	0,95

Nota: <sup>1</sup>ES 16/98; <sup>2</sup>SUPERPAVE<sup>TM</sup>; <sup>3</sup>AB – Asfalto-Borracha.

<sup>1</sup> Faixa densa especificada pelo Instituto do Asfalto norte-americano.

## 3.2. Materiais Utilizados

### 3.2.1. Agregados Minerais

O agregado mineral utilizado nesta pesquisa é uma rocha basáltica ácida da formação Serra Geral semelhante à encontrada em outros pontos do estado e considerada a mais representativa desta região do país. O derrame basáltico cobre aproximadamente 54% do território gaúcho. Foi utilizado também 13% de areia média de várzea para composição da mistura.

Na Tabela 3 são apresentadas, resumidamente, as características dos agregados utilizados nesta pesquisa.

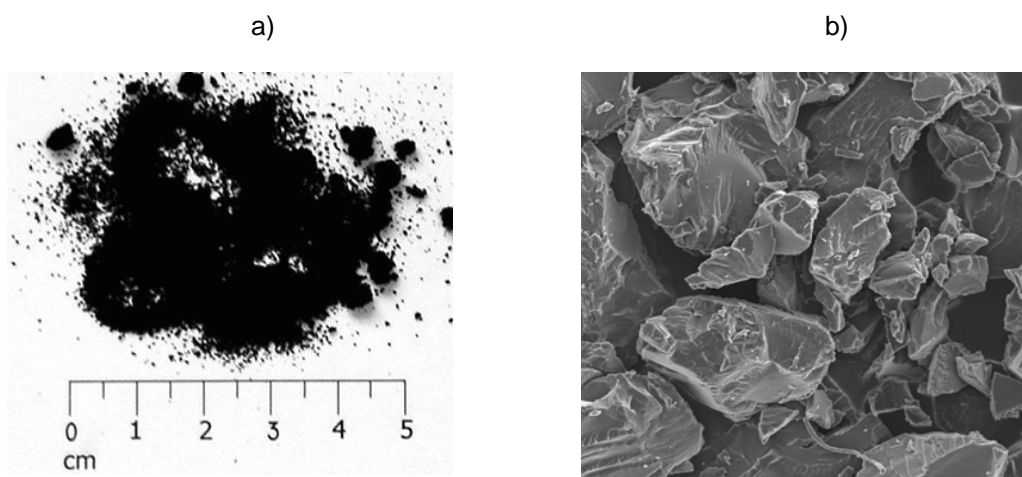
**Tabela 3:** Características dos agregados utilizados

Propriedade	Método	Brita 3/4"	Brita 3/8"	Pó de Pedra	Areia
Absorção	DNER 081/98	0,623	0,623	--	--
Densidade	DNER 081/98	2,886	2,873	2,313	2,129
Índice de Lamelaridade	DAER 108/01	35,6%	30,5%	--	--
Sanidade	DNER 089/1984	2,4%			
Desgaste ou Perda à Abrasão	NBR 465/1984	17%			
Adesividade	DNER 78/94	não satisfatório <sup>1</sup>			

Nota: <sup>1</sup> o ensaio indicou a necessidade da utilização de aditivo melhorador de adesividade.

### 3.2.2. Borracha

A borracha utilizada é proveniente do desmonte criogênico de resíduo da produção de bandas de recapagem e possui tamanhos de grãos entre 0,15 e 0,80mm, superfície específica de 131656m<sup>2</sup>/kN, massa específica real de 11,46kN/m<sup>3</sup> e massa específica aparente de 3,90kN/m<sup>3</sup>. A Figura 2 apresenta uma fotografia digital e uma foto de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da borracha utilizada.



**Figura 2:** Borracha de pneu utilizada:

a) fotografia digital b) imagem de MEV (aumento de 20X)

### 3.2.3. Cimento Asfáltico

O CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) utilizado na pesquisa foi o CAP 20 da Refinaria Alberto Pascoalini. As características do ligante utilizado estão sumarizadas na Tabela 4.

**Tabela 4:** Características do CAP utilizado

Propriedade	Método	Unid.	Especificação CAP 20	CAP 20	CAP 20 (Após o ECA <sup>1</sup> )
Ponto de amolecimento	NBR 6560	°C	---	49,1	54,3
Penetração (100g, 5s, 25°C)	NBR 6576	dmm	---	56	26
Viscosidade Saybolt-Furol	MB 517	ssf	120 mín	158	231,7
135°C			---	98,2	143,7
145°C			30 – 150	66,5	89,4
155°C			---	47,1	58,0
165°C			---	32,6	40,8
177°C			---	---	---
Recuperação Elástica (10°C, 20cm)	---	%	---	8,30	---
Ductilidade 25°C	NBR 6293	cm	20 mín.	>120	>120
Densidade Relativa (25°C/25°C)	DNER –M 16/64	g/cm <sup>3</sup>	---	1,0731	---
Ponto de Fulgor	NBR 11341	°C	235 mín.	297	
Ponto de Ruptura Fraas	---	-10°C	---	-12,0	-7,00
Especificação SUPERPAVE	ASTM 6373/99	°C	PG 64-22		

Nota: <sup>1</sup> Efeito Calor e Ar

## 3.3. Metodologia

### 3.3.1. Ensaio de Adesividade – Metodologia Lottman Modificada

Este ensaio avalia a propriedade de adesividade em misturas asfálticas, considerando o efeito deletério da água em amostras cilíndricas preparadas através da Metodologia Marshall com volume de vazios de aproximadamente 7% ( $\pm 1\%$ ). A análise é feita pela relação entre a resistência à tração de amostras com condicionamento prévio e amostras sem condicionamento. O ensaio foi realizado conforme a norma AASHTO T 283-89.

O valor obtido desta relação pode ser utilizado para prever o desempenho de misturas asfálticas face a adesividade ligante/agregado e também para verificar o efeito da adição de aditivos químicos ou pulverulentos na adesividade da mistura.

A marcha do ensaio é a seguinte: i) preparam-se seis amostras, seguindo a Metodologia Marshall, com volume de vazios entre 6% e 8% e separa-se em dois grupos com 3 amostras cada; ii) o primeiro grupo é submetido ao ensaio de resistência à tração (ensaio de tração por compressão diametral – ensaio brasileiro) após a imersão em água à 25°C por duas horas em sacos plásticos impermeáveis; determina-se o valor de  $R_{t1}$  (média dos três valores); iii) as amostras do segundo grupo são, inicialmente, saturadas (o grau de saturação deve ficar entre 55 e 80%). Esta saturação é conseguida com a aplicação de pressão de vácuo de aproximadamente 660mmHg durante 30 minutos; iv) acondicionam-se os corpos-de-prova em sacos plásticos com aproximadamente 3ml de água destilada dentro de cada saco; v) colocam-se, então, os corpos-de-prova sob refrigeração à temperatura de -18°C durante um período de 15 horas; vi) as amostras são removidas da refrigeração e imediatamente imersas em banho (em água destilada) à temperatura de 60°C por um período de 24 horas; vii) transferem-se, cuidadosamente, as amostras para um banho à temperatura de 25°C por um período de 2

horas; viii) rompem-se os corpos-de-prova submetidos ao condicionamento e determina-se o valor de  $R_{t2}$ ; ix) calcula-se, através do quociente entre  $R_{t2}$  e  $R_{t1}$  (em percentagem), o valor de  $RR_t$  – resistência retida à tração.

Este ensaio pode, também, ser realizado com amostras extraídas de pista. O valor encontrado na literatura como referência de misturas com bom desempenho quanto a adesividade é de 70%, e a Metodologia Superpave recomenda o valor de 80% como alvo.

### 3.3.2. Ensaio de Perda por Desgaste – Metodologia Cântabro

Este ensaio, desenvolvido para avaliar misturas drenantes, foi inicialmente normalizado na Espanha (CEC 325/86) e posteriormente normalizado e no Brasil sob a norma DNER – ES 386/99. O ensaio consiste em submeter amostras (uma por vez) de concreto asfáltico à 25°C a 300 revoluções (33 rpm) dentro da máquina de abrasão Los Angeles sem as esferas metálicas. A massa das amostras é determinada antes e depois do ensaio e é calculada a perda de massa por desgaste.

Este ensaio avalia de maneira indireta a coesão, resistência à abrasão e a resistência à desagregação de misturas asfálticas.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de adesividade (dano induzido por umidade). Estão tabelados as médias dos valores de resistência à tração de amostras com e sem condicionamento. A primeira constatação que pode ser feita é que o valor de  $RR_t$  obtido para a mistura de referência (75%) a qualifica como satisfatória do ponto de vista de adesividade. Entretanto, conforme apresentado na Tabela 3, a metodologia NBR 583/1992 indicou a adesividade ligante agregado como insatisfatória. Outro fato interessante é que os valores mais baixos de  $R_t$  com e sem condicionamento são da mistura sem borracha, conforme denota a Figura 3.

**Tabela 5:** Resultados obtidos no ensaio de adesividade Lottman Modificado

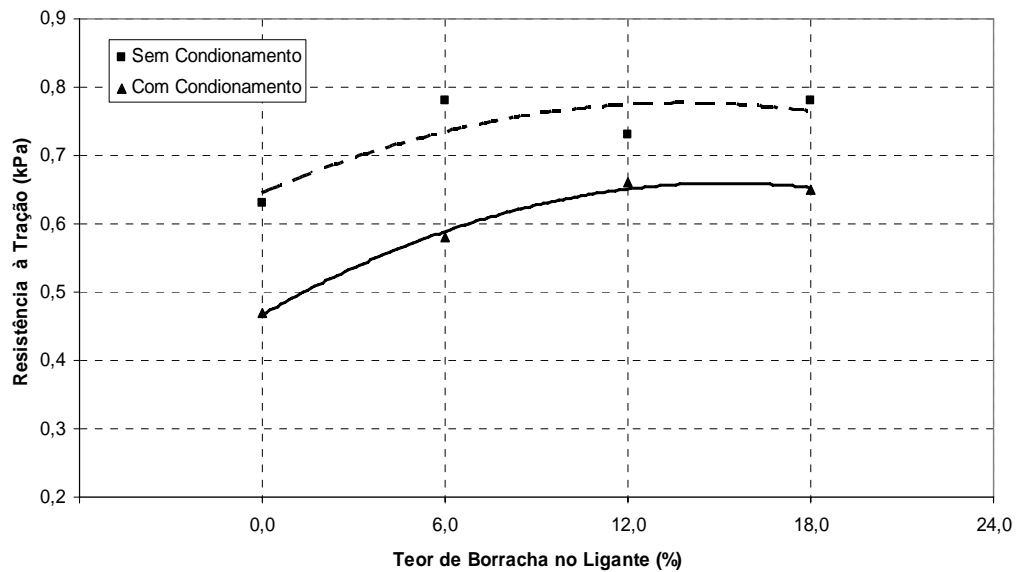
Propriedade	Teor de borracha adicionada ao ligante			
	0	6	12	18
$R_t$ (sem cond.) MPa	0,63	0,78	0,73	0,78
$R_t$ (com cond.) MPa	0,47	0,58	0,66	0,65
$RR_t$ (%)	74,60	74,36	90,41	83,33

Nota:  $R_t$  - Resistência à Tração ( $T=25^\circ\text{C}$ );  $RR_t$  – Resistência Retida à Tração.

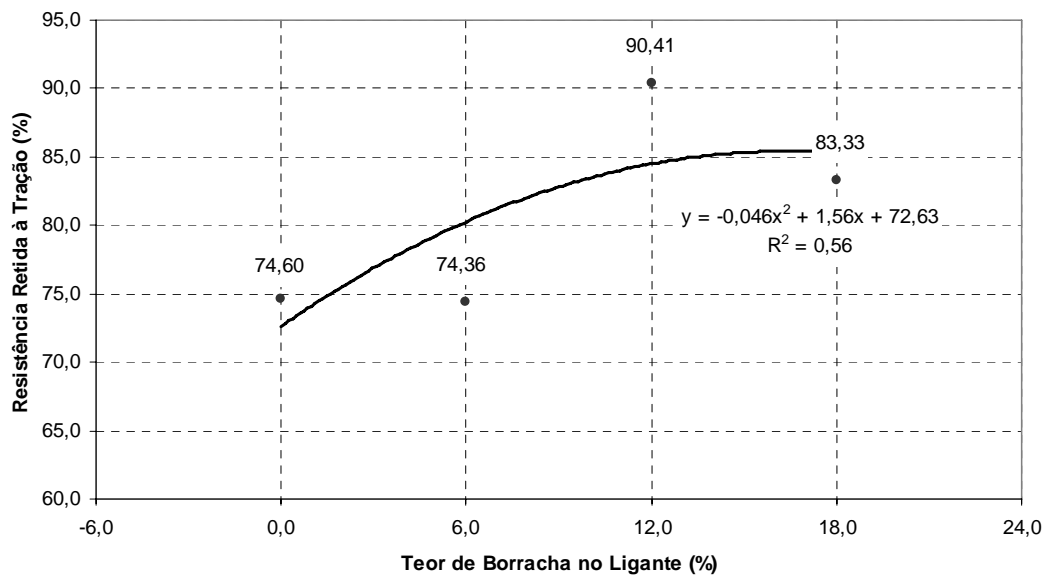
Na Figura 4 estão apresentados os valores de resistência retida à tração determinados no ensaio. Pode-se verificar, de maneira geral, um ganho na propriedade adesividade quando a borracha é adicionada ao ligante. Tal benefício é acentuado quando maiores teores de borracha são utilizados. O modelo de ajuste, cujo  $R^2$  é bastante baixo do ponto de vista estatístico, indica também que os valores de  $RR_t$  para 12 e 18% de borracha são expressivamente maiores que o da mistura de referência (sem borracha). Tal modelo serve apenas para auxiliar a análise e não tem a pretensão de servir de modelo de previsão dos valores de  $RR_t$ .

Pode-se inferir que a presença da borracha no ligante, para as condições de mistura estudadas, melhora o seu poder cimentante e a adesão/coesão com os agregados minerais. Deve-se

ressaltar também que para as misturas com borracha o teor de ligante de projeto é maior que o da mistura de referência (ver Tabela 2), o que certamente influi positivamente na no valor de RRt.



**Figura 3:** Resultados de resistência à tração com e sem condicionamento (T=25°C)



**Figura 4:** Resultados obtidos no ensaio de adesividade Lottman Modificado

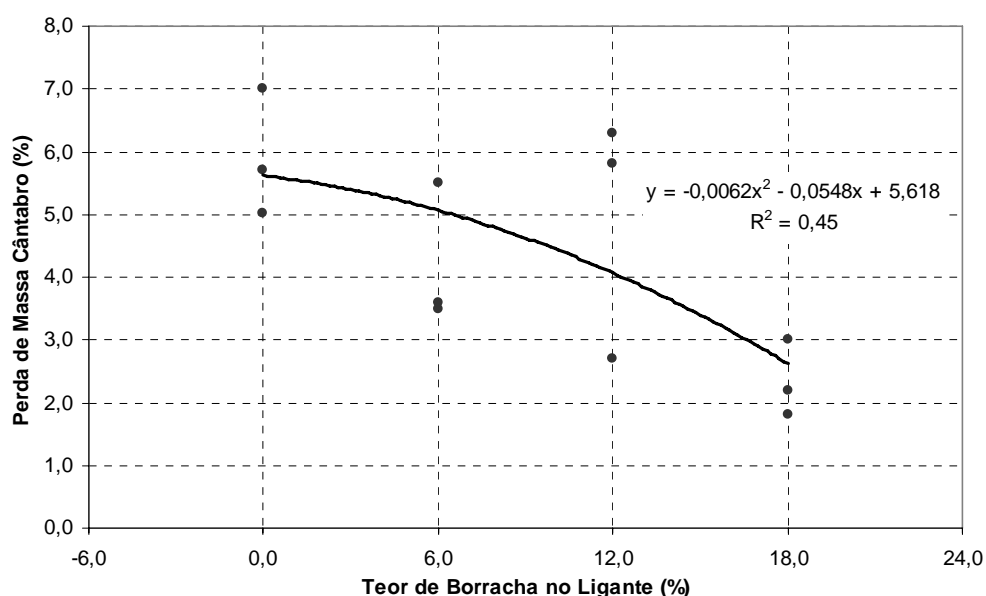
Na Tabela 6 e na Figura 5 estão apresentados os resultados dos ensaios de Perda por Desgaste Cântabro realizado nas misturas testadas. Os resultados são a média de três determinações realizadas com amostras preparadas com volume de vazios de 4%, sem condicionamento prévio e à temperatura de 25°C.

As misturas com borracha apresentaram menor perda por desgaste em relação à mistura de referência. Tais resultados corroboram com os valores de adesividade Lottman e indicam que as misturas preparadas com o ligante asfalto-borracha possuem maior resistência à abrasão do

que a mistura convencional. Tal melhoria está relacionada não apenas com as propriedades do ligante, mas também as propriedades da mistura, como teor de ligante (espessura do filme que recobre os agregados), rigidez, resistência e ductilidade. Ressalta-se que todos os valores medidos são bastante inferiores ao preconizado pela especificação DNER – ES 386/99 para misturas de pré-misturado à quente com asfalto polímero que limita a perda de massa em 25%.

**Tabela 6:** Resultados obtidos no ensaio Cântabro

Perda por desgaste (%)	Teor de borracha adicionada ao ligante			
	0	6	12	18
Leitura 1	5,0	5,5	2,7	2,2
Leitura 2	5,7	3,6	6,3	3,0
Leitura 3	7,0	3,5	5,8	1,8
Média	5,9	4,2	4,9	2,3
Desvio Padrão	1,0	1,1	1,9	0,6



**Figura 5:** Resultados obtidos no ensaio Cântabro

## 5. CONCLUSÕES

A utilização de metodologias que não testam a mistura, mas sim seus componentes, são sempre criticáveis devido a falta de interação entre seus componentes (nas proporções estabelecidas pelo projeto da mistura) bem como não consideram as alterações de propriedades advindas de tais interações. Ainda não há consenso na literatura a respeito de qual metodologia avalia de maneira mais adequada a adesividade e o desgaste de misturas asfálticas; há uma tendência de aceitação de métodos que avaliem o desempenho da mistura em sua forma final, tal qual as metodologias utilizadas nesta pesquisa.

A adesividade, medida através da metodologia Lottman Modificada (AASHTO T 283-89),

das misturas testadas apresentam uma tendência de elevação com o aumento do teor de borracha passando de um valor de 75% para a mistura de referência para um valor de até 90% quando 12% de borracha é adicionada ao ligante.

A perda de massa, determinada através da metodologia Cântabro (CEC 325/86), indicou que a incorporação de borracha ao ligante conduz a produção de misturas mais resistentes a desagregação, tal índice passou de 5,91% de perda para a mistura de referência para 2,33% para a mistura com 18% de borracha incorporada ao ligante.

Apesar das diferenças entre as duas metodologias aplicadas, uma com condicionamento prévio e que solicita as amostras à tração por compressão diametral, e, outra que induz a perda de massa dos corpos-de-prova por abrasão, nesta pesquisa pôde-se observar que ambos os métodos conduzem a resultados que denotam a eficiência do uso de asfalto-borracha sob os aspectos estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASSTO T 283-89. (1989) *Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage*. In: American Association of State Highway Transportation Officials.
- ASPHALT INSTITUTE. (1995) *Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types*. Lexington, Manual Series N°2 (MS-2), 6 ed. 141p.
- CENTRO DE ESTUDIOS DE CARRETERAS (CEC). (1986) *Propuesta de norma de ensayo – determinacion de la perdida por desgaste de mezclas bituminosas mediante el empleo de la maquina de Los Angeles (Ensayo Cantabro)*. NLT – 325/86. Madrid, 3p.
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. (2001) *Concreto Asfáltico*. DAER/RS – EL 16/01. Porto Alegre, 23p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1994) *Adesividade de agregado à ligante betuminoso*. DNER – ME 79/94. Rio de Janeiro, 2p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1994) *Adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso*. DNER – ME 78/94. Rio de Janeiro, 2p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1999) *Pavimentação – Pré misturado à quente com asfalto polímero - Camada porosa de atrito*. DNER – ME 386/99. Rio de Janeiro.
- EPPS, A. L. (1997) *Thermal Behavior of crumb-rubber modified asphalt concrete mixtures*. Berkeley, Dissertation (Doctor of Philosophy) – ITS/UCB. 391p.
- HICKS, R. P. (1991) Moisture damage in asphalt concrete. *National Cooperative Highway Research Program. Synthesis of Highway Practice* 175, Transportation Research Board, Washington, 91p.
- KANDHAL, P. S. (1992) *Moisture susceptibility of HMA mixes: identification of problem and recommended solution*. NCAT - National Center for Asphalt Technology. Auburn, report n.92-6.
- MOURA, E. (2001) *Estudo do efeito de aditivos químicos e da cal como melhoradores de adesividade em misturas asfálticas densas*. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola politécnica/USP. 122p.
- NEWCOMB, D. E.; STROUP-GARDINER, M.; KIM J. R.; ALLEN, B.; WATTENHOFFER-SPRY, J. (1994) *Polymerized crumb rubber modified mixtures in Minnesota*. Department of Civil and Mineral Engineering – University of Minnesota and Minnesota DOT. Maplewood, MN/RC 94/08. 181p.
- ROAD RESEARCH LABORATORY – RRL. (1962) *Bituminous materials in road construction*. Department of scientific and industrial research. London.
- RUBBER PAVEMENT ASSOCIATION – RPA. (2000) *Noise reduction with asphalt-rubber*. Phoenix, 4p. <http://www.rubberpavements.org/library/> (artigo consultado em Maio de 2000).
- SAINTON, A. (1990) *Advantages of asphalt rubber binder of porous asphalt concrete*. Transportation Research Record. Washington, n.1265, p.69-86.
- SPECHT L. P.; CERATTI J. A. P. *Avaliação laboratorial do emprego do ligante asfalto-borracha em concreto asfáltico*. In: 17º Encontro do Asfalto. Rio de Janeiro, 2004.
- SPECHT, L. P. (2004) *Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus*. Porto Alegre. Tese (Doutorado em Engenharia) – PPGE/UFRGS. 279p. (disponível em [www.unijui.tche.br/~specht](http://www.unijui.tche.br/~specht)).

---

**Luciano Pivoto Specht, Dr.**

Professor Adjunto – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
Curso de Engenharia Civil – Rua do Comércio 3000, Bairro Universitário, CEP: 98700-000 – Ijuí – RS  
Fone: 55 3332 0514 e-mail: specht@unijui.tche.br.

**Jorge A. Pereira Ceratti, Dr.**

Professor Adjunto – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Rua Osvaldo Aranha 99 – Centro, CEP: 90035-190 – Porto Alegre – RS  
Fone: 51 3316 3590 e-mail: lapav@genesis.ufrgs.br

**Lélio A. Teixeira Brito, Eng.**

Mestrando – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Rua Osvaldo Aranha 99 – Centro, CEP: 90035-190 – Porto Alegre – RS  
Fone: 51 3316 3462 e-mail: leliob@terra.com.br