



PIVIC/CNPq/UFPG-2010

## **ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS CONTENDO MATERIAL FRESADO A PARTIR DA DOSAGEM MARSHALL**

**Alexandra Maria de Oliveira<sup>1\*</sup>, Maria das Vitórias do Nascimento<sup>2</sup>, Adriano Elísio de F. L. Lucena<sup>3</sup>, José de Arimatéia Almeida e Silva<sup>4</sup>**

### **RESUMO**

A reciclagem de um pavimento tem como objetivo principal reaproveitar os materiais, poupar os recursos naturais, e se possível, melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais. Dentre as propriedades destacam-se: à resistência a ruptura por carregamento estático, à resistência à fadiga por carregamento repetido, e a resistência à ação das intempéries e ação das águas. O objetivo desta pesquisa foi determinar o teor ótimo de CAP em misturas asfálticas recicladas contendo 5%, 10%, 15% e 20% de material fresado, que atendesse as especificações da Faixa C do DNIT. O comportamento mecânico de misturas asfálticas contendo materiais fresados, considerando seu aproveitamento para as camadas de rolamento, foi realizado a partir da metodologia de dosagem MARSHALL. A fase experimental consistiu de duas etapas: estudo das propriedades físicas dos materiais e dosagem das misturas asfálticas recicladas. Ao concluir a pesquisa nota-se que o teor de projeto ideal dentre os pesquisados foi 15%, pois este atendeu a todos os parâmetros para faixa de estudo. Conclui-se que é possível a utilização de material fresado contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável da indústria de Pavimentação.

**Palavras-chave:** Reciclagem, Material Fresado, Dosagem Marshall

## **STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR MIX ASPHALT MILLED MATERIAL CONTAINING DOSAGE FROM THE MARSHALL**

### **ABSTRACT**

The recycling of a deck's main objective is to reuse materials, save natural resources, and if possible, improve the physical and mechanical properties of materials. Among the properties are: resistance to fracture under static loading, the fatigue resistance by repeated loading, and resistance to climate and water action. The objective of this research was to determine the optimum content of PAC mixtures containing recycled asfálticas 5%, 10%, 15% and 20% of milled material that meets the specifications of the Track C DNIT. the mechanical behavior of asphalt mixtures containing milled materials, considering their use for the layers of bearing was conducted using the methodology dosage MARSHALL. The experimental phase consisted of two phases: a study of the physical properties of materials and strength of recycled asphalt mixtures. By completing the survey notes that the level of optimal design from among

<sup>1</sup> Aluna do Curso de Engenharia Civil, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: alexandrawel@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheira Civil, Bolsista CAPES do mestrado de Engenharia Civil e Ambiental da UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: vitoriaeng@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: lucenafb@uol.com.br

<sup>4</sup> Engenheiro Civil, Bolsista CAPES do mestrado de Engenharia Civil e Ambiental da UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: jaa.silva@yahoo.com.br

\*Autora para correspondências.

respondents was 15%, as it met all the criteria for full study. We conclude that it is possible to use milled material thereby contributing to the sustainable development of the Pavement.

**Keywords:** Recycling, Material Milling, Dosage Marshall

## INTRODUÇÃO

A reciclagem de pavimento é uma técnica de reabilitação onde toda, ou parte da camada do pavimento existente, é reaproveitada na construção de uma nova camada, incorporando ou não novos materiais, permitindo assim obter um pavimento com características semelhantes ou superiores ao pavimento antigo (FONSECA, 2009).

A idéia de reciclar pavimentos surgiu em 1915 e foi pouco difundida até meados dos anos 70. No Brasil, o processo de reciclagem de pavimentos iniciou na década de 80, contemplando somente o concreto betuminoso usinado a quente reciclado (DNER, 2006).

A reciclagem de pavimentos é uma técnica cujo objetivo fundamental é transformar um pavimento degradado numa estrutura homogênea e adaptado ao tráfego que deverá suportar. Ou seja, consiste em reutilizar os materiais existentes na construção de uma nova camada, mediante a desagregação dos mesmos numa certa profundidade, a adição de um conglomerante ou aglomerante (cimento ou emulsão), água (para a hidratação, pré-molhagem e compactação), eventualmente agregados (como corretores granulométricos ou com outros fins) e algum aditivo, com uma dosificação obtida mediante ensaios. A mistura homogênea destes materiais espalha-se, compacta-se e deixa-se curar adequadamente, constituindo uma base ou uma camada estruturalmente resistente de um novo pavimento (FONSECA, 2009).

A fresagem é um processo em que se utiliza máquina fresadora que desagrega parte do pavimento e que possui dispositivo de corte da camada em trabalho, além de esteira para transporte do material cortado para veículo transportador que trafega junto desta máquina (PAULIFRESA, 2009). A fresagem do pavimento é uma operação onde o pavimento, ou parte dele, é cortado através de um equipamento dotado de um cortador giratório empregando movimento rotativo. A fresagem pode ser feita a frio ou a quente (LIMA, 2003).

É importante notar a diferença entre reciclagem e fresagem. A reciclagem de pavimento é uma técnica de restauração, enquanto a fresagem do pavimento é uma operação onde o pavimento, ou parte dele, é cortado através de um equipamento dotado de um cortador giratório empregando movimento rotativo. A fresagem pode ser feita a frio ou a quente. Dá-se o nome de termo-reperfilagem quando o revestimento é aquecido e compactado para corrigir a deformação nele existente, e o termo regeneração quando há aquecimento do revestimento, seguido de escarificação e nivelamento (ALVIM, 1999).

Um aspecto importante a ser destacado nesse contexto é o fato de que as obras rodoviárias geram grandes quantidades de material fresado quando ocorre a restauração dos pavimentos. Nesse sentido, a técnica de reciclagem "in situ" viabiliza a reutilização desse material evitando, dessa forma, uma maior agressão ao meio ambiente.

Segundo Lima (2003) a maioria dos procedimentos de dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente segue uma metodologia baseada na consistência do ligante envelhecido para a determinação do teor de ligante novo e/ou agente rejuvenescedor de acordo com a norma ASTM D4887.

No Brasil, quase que exclusivamente, a metodologia Marshall é utilizada para o desenvolvimento de projetos de misturas asfálticas. Desenvolvida por Bruce G. Marshall, do Departamento de Transporte do Estado do Mississippi nos Estados Unidos, na década de 30, esta metodologia foi criada para a determinação da quantidade ótima de ligante que deve ser usado na composição de misturas asfálticas para uso em serviços de pavimentação rodoviária, baseando-se para tanto, nos resultados de estabilidade obtidos por este ensaio (SPECHT, 2004).

A metodologia Marshall consiste em, por compactação a quente, moldar uma série de corpos-de-prova com diferentes teores de ligante asfáltico, no interior de moldes cilíndricos metálicos, os quais, depois de extraídos dos moldes metálicos, são armazenados ao ar livre durante 24 horas. Em seguida, os mesmos são imersos em banho a uma temperatura de 60°C; após são submetidos a uma compressão diametral, aplicada por uma prensa, através de um molde de compressão cilíndrico, idealizado por Marshall. O valor da carga máxima suportada pelo corpo-de-prova é conhecido como estabilidade Marshall, e a deformação causada pela ruptura de fluência. Além destes valores, são calculadas também a densidade, volume de vazios e a relação entre vazios dos agregados preenchidos de betume (SPECHT, 2004).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram material fresado, brita 19mm, brita 9,5mm, pó de pedra, cal e cimento asfáltico de petróleo - CAP. A Tabela 1 apresenta a relação dos materiais e o local de onde foram extraídos. O programa experimental consistiu na realização da caracterização física dos materiais e posterior dosagens das misturas, utilizando as porcentagens de material fresado (5%, 10%, 15% e 20%) pela metodologia Marshall.

Tabela 1: Materiais utilizados e local de origem

<b>Tipo de Material</b>	<b>Local de Origem</b>
Material Fresado	BR 101/PB - Lote 05
Brita 19mm	Pedreira BR 230
Brita 9,5mm	Pedreira BR 230
Pó de Pedra	Pedreira BR 230
Filler	MegaO (C. hidratada)
CAP	Usina de Fortaleza-CE

### Caracterização física dos agregados

#### Material fresado

O material fresado foi extraído da camada de rolamento da BR-101/PB - Lote 05 (Figura 1). Após coleta conforme a norma de procedimento PRO 199/96 (DNIT) foi realizado o ensaio de granulometria de acordo com a norma DNIT ME 083/98, determinação da densidade real do agregado miúdo e graúdo de acordo com as normas DNIT ME 194/98 e DNIT ME 195/97 respectivamente, e extração de betume de acordo com a norma DNER ME 053/94.



Figura 1: Material fresado utilizado na pesquisa.

#### Agregados graúdos

A brita 19mm e brita 9,5mm, foram cedidas pela empresa Maia Melo Engenharia Ltda. e extraídas de pedreira localizada na BR 230. Foi realizada a determinação da densidade real dos agregados graúdos de acordo com a norma do DNIT ME 195/97 e distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados, norma do DNIT ME 083/98 (Figura 2).



(a) Brita 19mm



(b) Brita 9,5mm

Figura 2: Agregados graúdos utilizado na pesquisa.

### **Agregado miúdo**

O pó de pedra foi cedido pela empresa Maia Melo Engenharia Ltda. e extraído de pedreira localizada na BR 230. Foi realizada a determinação da densidade real do agregado miúdo de acordo com a norma do DNIT ME 194/98 e distribuição dos tamanhos das partículas do agregado, norma do DNIT ME 083/98 (Figura 3).



Figura 3: Pó de pedra utilizado na pesquisa.

### **Filler**

O fíler empregado na pesquisa foi a cal hidratada da marca MegaO (Figura 4).



Figura 4: Cal hidratada utilizada na pesquisa.

## Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Utilizou-se o CAP 50-70 oriundo da usina de Fortaleza – CE, tendo as características de viscosidade 320 s, densidade 1,027 g/cm<sup>3</sup>, ponto de fulgor mínimo 295 °C, penetração 50-70 (Figura 5).



Figura 5: CAP 50-70 utilizado na pesquisa

### Dosagem Marshall

Realizou-se a seleção da faixa granulométrica de forma que a composição dos agregados reciclados e novos enquadra-se na faixa “C” do DNIT da Especificação de Serviço ES - 031/2006, faixa esta mais comumente utilizada na região Nordeste.

O ensaio Marshall foi realizado segundo a norma do ME 043/95 do DNIT, os corpos-de-prova foram compactados de forma automática e manual. Para realização destes ensaios foram moldados corpos-de-prova com teores de material fresado 5%, 10%, 15% e 20%. O objetivo deste procedimento é determinar o teor ótimo de CAP em função do percentual de material fresado, que tenha melhor desempenho quanto à estabilidade e fluência Marshall e que atenda as especificações da faixa “C” do DNIT. A Tabela 2 apresenta o detalhamento do programa de moldagem dos corpos-de-prova desenvolvido durante a pesquisa.

Tabela 2: Teores de CAP em função dos teores de material fresado e quantitativo de corpos-de-prova.

<b>Teor de Material fresado</b>	<b>Teor de CAP</b>					<b>Nº de Corpos-de-prova</b>
	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	
5%	3	3	3	3	3	15
10%	3	3	3	3	3	15
15%	3	3	3	3	3	15
20%	3	3	3	3	3	15
					<b>Total</b>	<b>60</b>

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Determinação da massa específica dos agregados

A Tabela 3 apresenta as massas específicas dos agregados minerais utilizados na pesquisa.

Tabela 3: Massa específica dos agregados utilizados na pesquisa

Agregado	Massa Específica Real (g/cm <sup>3</sup> )
Material Fresado	2,623
Brita 19mm	2,632
Brita 9,5mm	2,632
Pó de Pedra	2,619
Cal	2,535

### Extração do CAP

A Tabela 4 apresenta os resultados da extração de betume, teor de CAP extraído do material fresado. A amostra 01, o CAP foi extraído utilizando-se como solvente a gasolina, enquanto que, as amostras 02 e 03 utilizou-se o xileno.

Tabela 4: Teor de CAP extraído do material fresado

	Teor de Ligante (%)	Média (%)
Amostra 01	8,03	6,74
Amostra 02	5,90	
Amostra 03	6,30	

### Mistura asfáltica reciclada a quente

As Figuras 6, 7, 8, e 9 apresentam as distribuições dos tamanhos das partículas dos agregados, lançadas em gráficos com a curva proposta por Fuller e Thompson em 1907, que foram utilizadas na mistura asfáltica reciclada, com teores de 5%, 10%, 15% e 20% com adição de filer (Cal hidratada).

Todas as curvas se enquadraram na Faixa "C" do DNIT. Quanto aos critérios do MARSHALL, de zona de controle e pontos de restrições para o diâmetro máximo do agregado de 19,00mm, apenas a mistura contendo 5% de material fresado não se enquadrou.

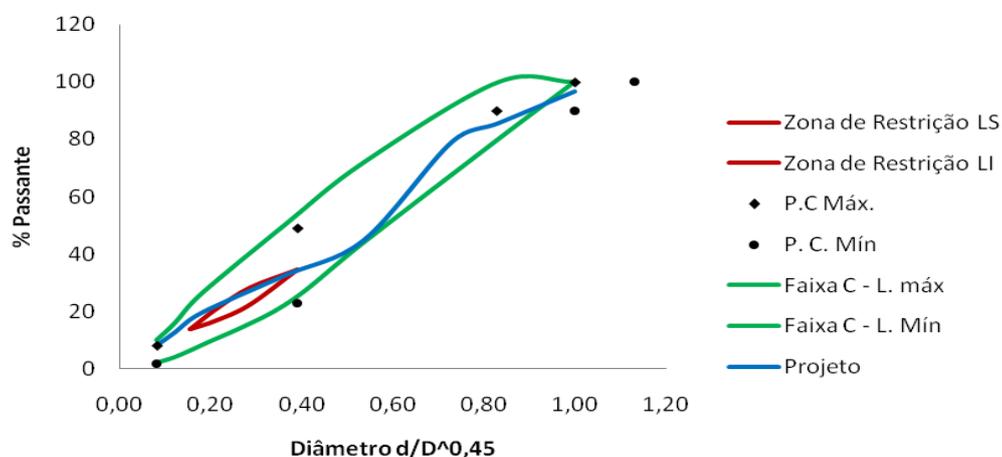


Figura 6: Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados para mistura contendo 5% de material fresado

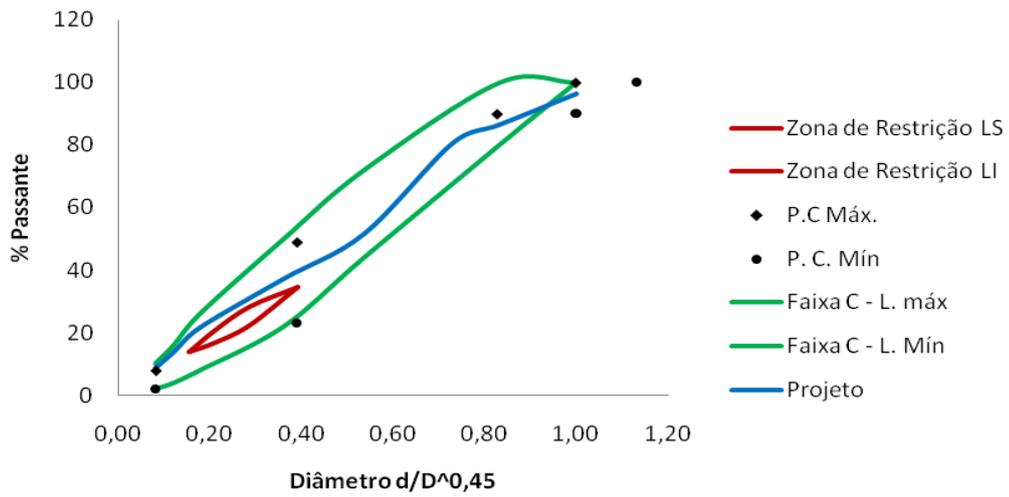


Figura 7: Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados para mistura contendo 10% de material fresado

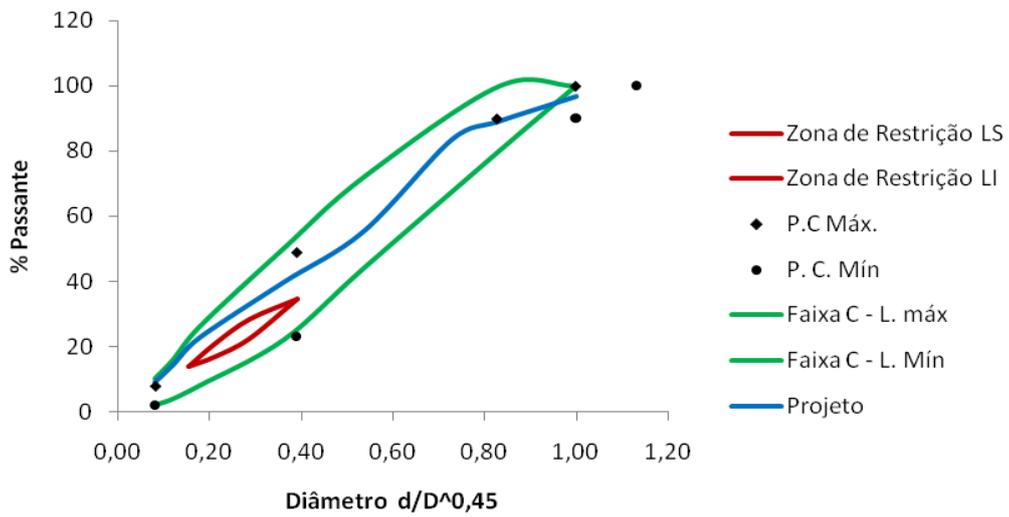


Figura 8: Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados para mistura contendo 15% de material fresado

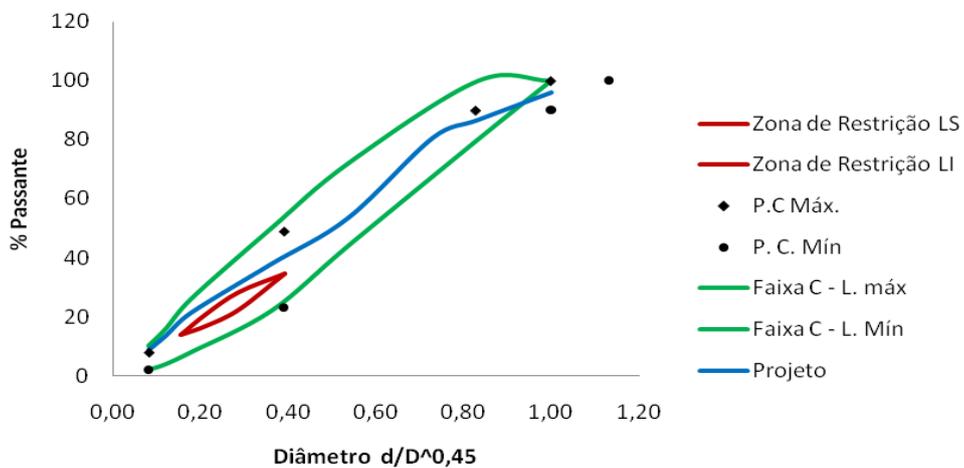


Figura 9: Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados para mistura contendo 20% de material fresado

### Teor de Fresado de 5%

As Figuras 10,11 e 12 apresentam os gráficos de Estabilidade Marshall, % de Vazios e Relação Betume Vazios.

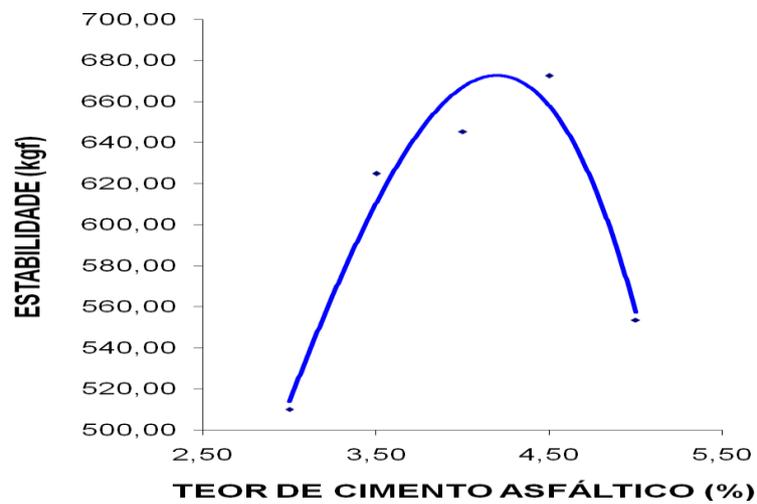


Figura 10: Estabilidade Marshall – Fresado 5%

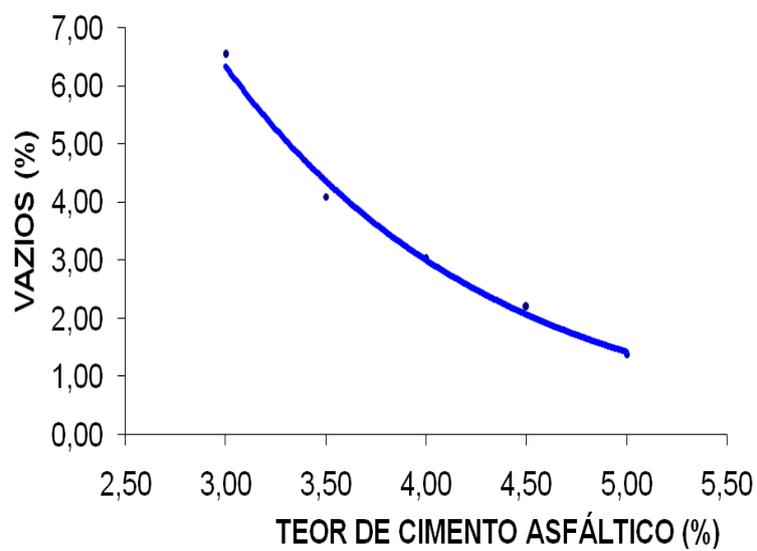


Figura 11: % Vazios – Fresado 5%

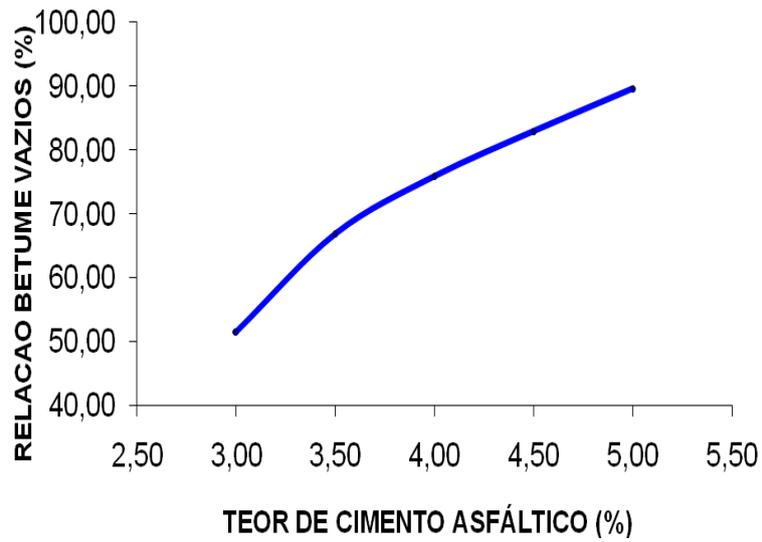


Figura 12: Relação Betume Vazios – Fresado 5%

Portanto, após a análise dos gráficos calculou-se o teor de CAP ideal como sendo de 4,48%.

#### Teor de Fresado de 10%

As Figuras 13,14 e 15 apresentam os gráficos de Estabilidade Marshall, % de Vazios e Relação Betume Vazios.

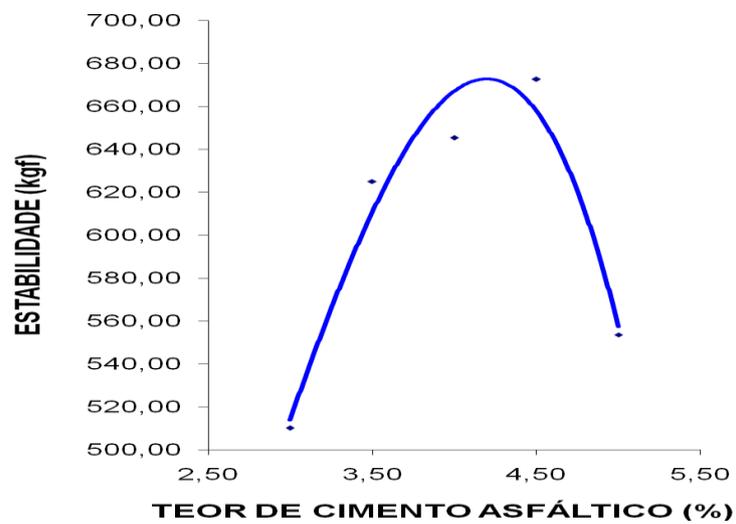


Figura 13: Estabilidade Marshall – Fresado 10%

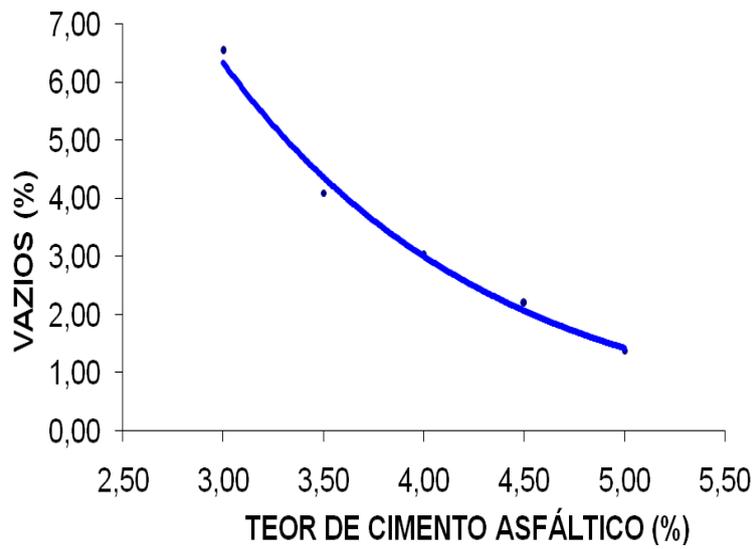


Figura 14: % Vazios – Fresado 10%

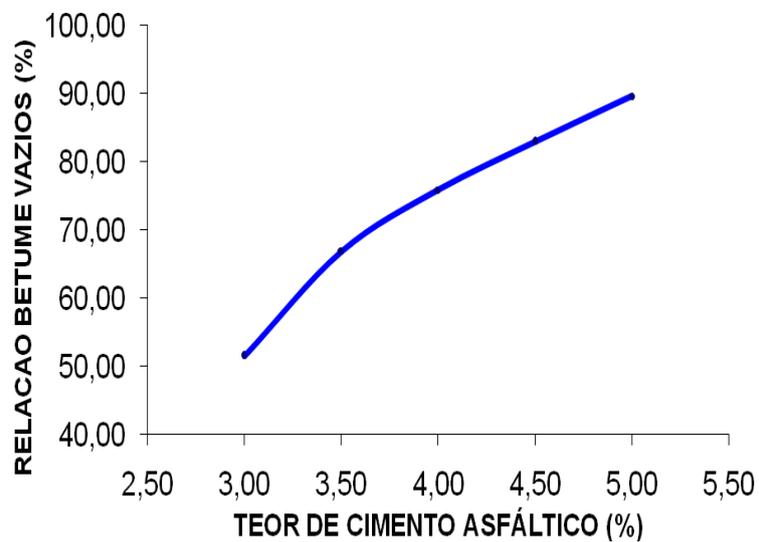


Figura 15: Relação Betume Vazios – Fresado 10%

Portanto, após a análise dos gráficos calculou-se o teor de CAP ideal como sendo de 5,15%.

### Teor de Fresado de 15%

As Figuras 16,17 e 18 apresentam os gráficos de Estabilidade Marshall, % de Vazios e Relação Betume Vazios.

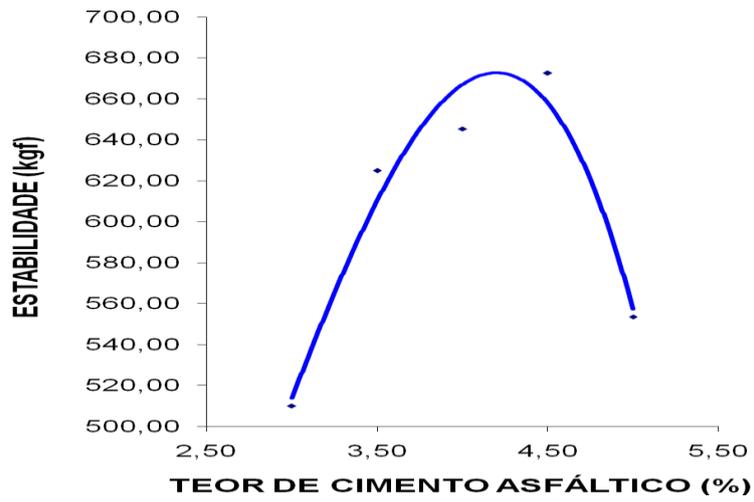


Figura 16: Estabilidade Marshall – Fresado 15%

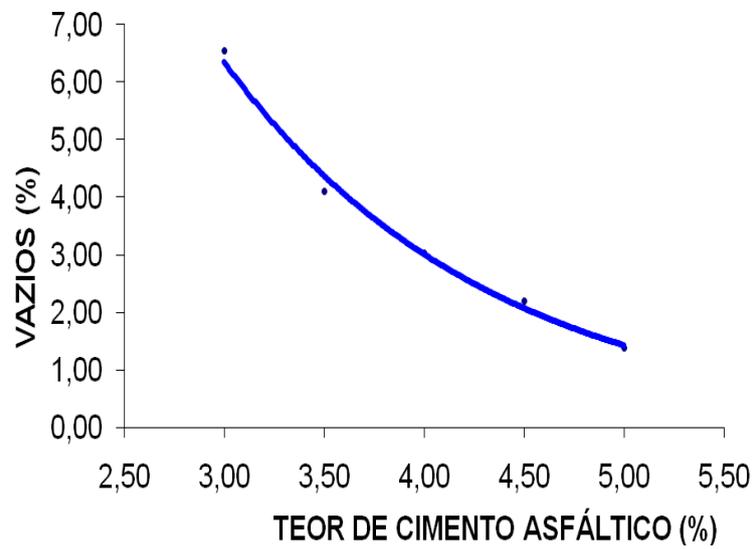


Figura 17: % Vazios – Fresado 15%

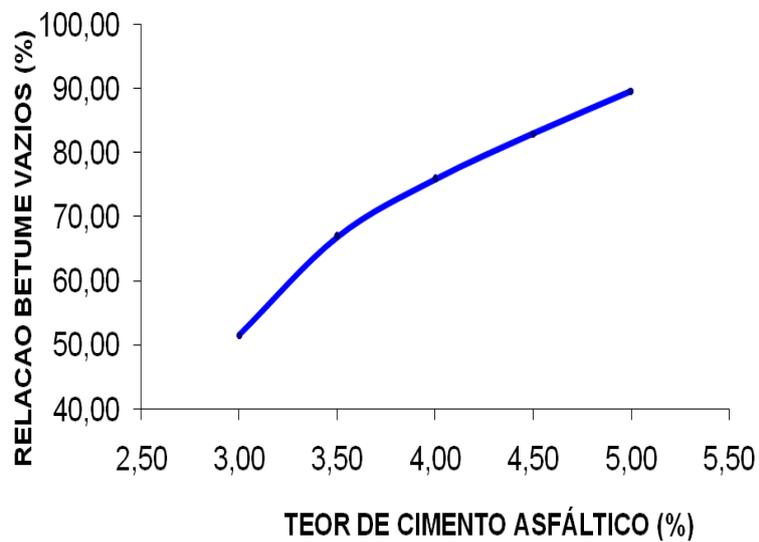


Figura 18: Relação Betume Vazios – Fresado 15%

Portanto, após a análise dos gráficos calculou-se o teor de CAP ideal como sendo de 4,76%.

### Teor de Fresado de 20%

As Figuras 19,20 e 21 apresentam os gráficos de Estabilidade Marshall, % de Vazios e Relação Betume Vazios.

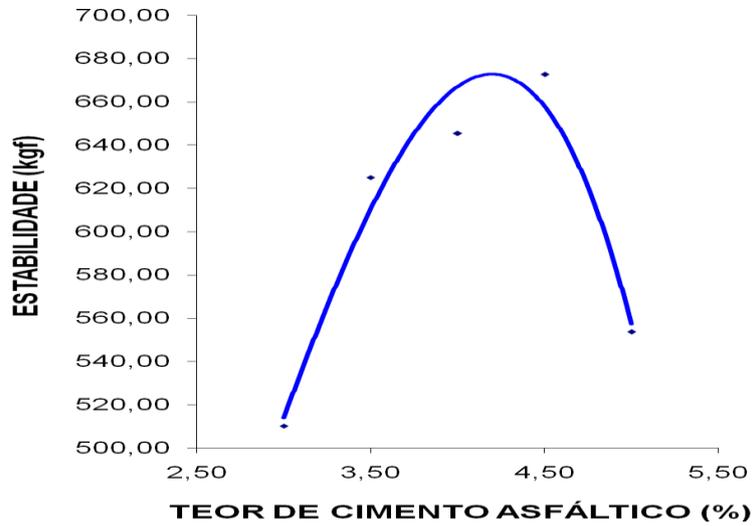


Figura 19: Estabilidade Marshall – Fresado 20%

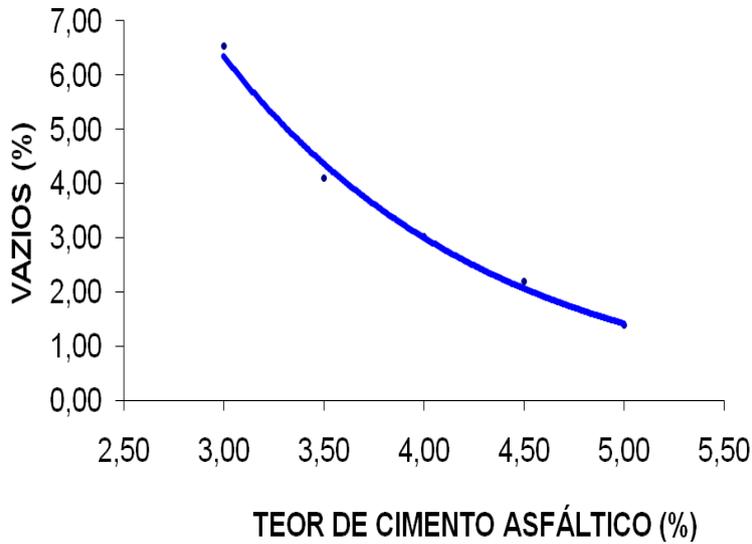


Figura 20: % Vazios – Fresado 20%

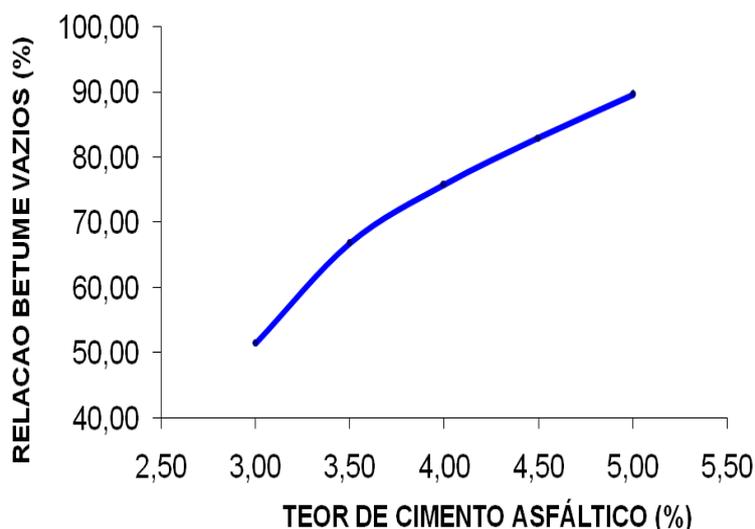


Figura 21: Relação Betume Vazios – Fresado 20%

Portanto, após a análise dos gráficos calculou-se o teor de CAP ideal como sendo de 4,80%.

### Cálculo do teor ótimo em função do teor de material fresado

Após determinação da curva proposta por Fuller e Thompson para as misturas contendo 5%, 10%, 15% e 20%, realizou-se a dosagem Marshall e o cálculo do teor de CAP para os respectivos teores de material fresado, confrontando-os com as especificações do DNIT 031/2004 – ES para Faixa “C” camada de rolamento, na Tabela 5 estão inseridos estes resultados.

Tabela 5: Teor ótimo de CAP e especificações do DNIT Faixa “C”

Teor de Material Fresado	Teor Ótimo de CAP	Índice de Vazios	Relação Betume Vazios RBV	Estabilidade (kgf)	Vazios do Agregado Mineral- VAM
		Camada de Rolamento de 3 a 5 (%)	Camada de Rolamento de 75 a 82 (%)	Camada de Rolamento mínimo, 500 kgf	VAM mínimo 15%
5%	4,48%	2,2	82	1140	12,6
10%	5,15%	4,5	73	960	16
15%	4,76%	4,2	72	1500	15
20%	4,80%	1,9	86	1440	13,2

Nota-se que a estabilidade foi atingida em todas as misturas, porém nem todas as especificações foram conseguidas, sendo a mistura contendo 15% de material fresado considerada ideal, pois nesta todas as especificações da Faixa “C” do DNIT para camada de rolamento foram atingidas.

### CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que é totalmente possível e tecnicamente viável a reutilização do material removido de pavimentos antigos durante o processo de fresagem. Todas as misturas recicladas composta por agregados novos e materiais fresados nos teores utilizados nesta pesquisa, deram resultados favoráveis, porém a mistura contendo 15% de material fresado foi considerada ideal por atender as especificações da Faixa C do DNIT para camada de rolamento, faixa de trabalho desta pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Adriano Elísio pelas orientações, sugestões e apoio durante a elaboração deste trabalho;  
A empresa Maia Melo Engenharia Ltda., por ter cedido os materiais para realização dos ensaios;  
A todos os colegas do Laboratório de geotecnia pelo apoio e a toda equipe que contribuiu com o desenvolvimento deste projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, I.M. (1999) Fresagem & Reciclagem de Pavimentos e Suas Aplicações na Restauração de Rodovias. [www.fresar.com.br](http://www.fresar.com.br).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DNER. Manual de pavimentação. 2ª ed. Rio de Janeiro. 2006. 278p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – ME 043/95 - Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DNER – ME 053/94 - Misturas betuminosas- percentagem de betume. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – PRO 199/96 – Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório. Rio de Janeiro, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – ME 083/98. Agregados – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - ME 194/98 - Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – ME 195/97 - Agregados - determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - ES-031/2004 – Pavimentos flexíveis – concretos asfálticos. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - ES-031/2006 – Pavimentos flexíveis – concretos asfálticos. Rio de Janeiro, 2006.

FONSECA, P. (2009) Engenheiro Civil Recipav – Engenharia e Pavimento, LTDA. Disponível em: <http://www.recipav.pt/imagens/reciclagem.pdf>. Acesso em: 16/09/2009 as 21:30 horas.

LIMA, A. T. (2003) Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará. Ceará.

PAULIFRESA (2009), Disponível em [HTTP://www.paulifresa.com.br](http://www.paulifresa.com.br), Acessado em 16/09/2009

SPECHT, L. P. Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus. Porto Alegre, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) ) — Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.