



Análise da Fadiga em Misturas Asfálticas Recicladas Quente com Incorporação de Material Fresado

Matheus Silva Oliveira

Universidade de Brasília, Anápolis, Brasil, engmatheus.castelli@gmail.com

Márcio Muniz de Farias

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, mmuniz@unb.br

João Paulo Souza Silva

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, profjpps@gmail.com

RESUMO: O modal rodoviário atualmente, é o mais utilizado no Brasil, seja este para transporte de cargas e ou de passageiros. Visto isso, a busca por infraestruturas de transportes que exerçam desempenho e segurança ao tráfego, passa a ser uma necessidade primordial no momento de dimensionar novas estruturas de pavimentos. Sendo assim ao se fazer um breve paradoxo histórico, nota se que os pavimentos dimensionados no país, muitas das vezes não chegam na sua vida útil de projeto, tendo como defeitos mais recorrentes o trincamento por fadiga e deformação permanente, o que gera em um maior número de ações M&R, ou seja intevenções de manutenção e reabilitação, ocasionando conseqüentemente em um alto volume de material fresado, que é destinado aos bota-foras. Com intuito da melhor utilização e destino final adequado dos resíduos oriundos da fresagem, buscou se realizar distintas incorporações de material fresado à novas misturas asfálticas, com foco na fadiga, visto que o material apresenta uma elevada rigidez. Entretanto buscou se fazer misturas com 100% de incorporação, além de percentuais de 25% e 45%, avaliando até que quantidade incorporada proporciona ganhos e não comprometa a vida de fadiga da mistura asfáltica.

PALAVRAS-CHAVE: Mistura Asfáltica, Fresado, Reciclagem, Fadiga, RAP.

ABSTRACT: The road modal currently, is the most used in Brazil, either for cargo and/or passenger transport. There fore, the search for transport infrastructures that exercise performance and safety to the traffic, becomes a primordial necessity at the moment of dimensioning new pavement structures. Therefore, when making a brief historical paradox, it is noted that the pavements dimensioned in the country, many times do not arrive in their useful life of project, having as more recurrent defects the cracking by fatigue and permanent deformation, which generates in a greater number of M&R actions, i.e. maintenance and rehabilitation interventions, consequently causing a high volume of milled material, which is destined to the boots. In order to make the best use of the residues from the milling process and to properly dispose of them, we have tried to incorporate the milled material into the new asphalt mixtures, focusing on fatigue, since the material is highly rigid. However, we tried to make mixtures with 100% incorporation, in addition to percentages of 25% and 45%, assessing up to what amount incorporated provides gains and does not compromise the fatigue life of the asphalt mixture.

KEYWORDS: Asphalt Mixture, Milling, Recycling, Fatigue, RAP.

1 INTRODUÇÃO

Em razão do Brasil ser um país cujas dimensões são continentais, a busca por infraestruturas de transportes destinadas à interligação dos espaços geográficos, é algo estratégico e necessário. Dessa maneira, o modal rodoviário atualmente, é o mais utilizado no Brasil, sendo responsável por mais de 60% do transporte de cargas e por mais de 90% do transporte de passageiros (CNT, 2018).

Ao se fazer análise da atual situação da malha rodoviária no país, segundo levantamento feito pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT) em 2018, apenas 12,3% das rodovias brasileiras são pavimentadas, ou seja, 211.468 km de um total de 1.720.756 km existentes, sendo que destes pavimentados, 99% são pavimentos flexíveis.



A respeito disso, o desgaste é a principal deficiência constatada no período, sendo assim, o percentual de trechos com pavimento desgastado passou de 13%, em 2004, para 49% em 2016 e para 50,9% em 2018. Deste mesmo modo, o índice de pavimento perfeito no país caiu de 48% para 32%, no mesmo período.

Entretanto, ao se analisar as condições do pavimento desta malha, nota-se que este nem sempre apresenta funcionalidade ao que se destina, isso é perceptível não apenas com quantitativo de dados proveniente das pesquisas, mas também em função da considerável perdas de insumos, dentre outros problemas, decorrentes das condições da infraestrutura e dos grandes deslocamentos necessários, principalmente no transporte de cargas.

Dentre os principais defeitos e/ou patologias que se tem nos pavimentos rodoviários do país nota-se que, dos 107.161 km analisados, ou seja, 49,1 % dos pavimentos apresentam aspectos considerados como “bom” para operação, enquanto 50,9% apresentam sinais de desgaste e predominam defeitos tais como, trinca em malha e/ou remendos, afundamentos, ondulações e buracos, bem como situações em que o pavimento está totalmente destruído (CNT, 2018).

Fato este que, devido à má qualidade da rede de pavimentos, torna-se necessário adoção de ações de reconstrução e/ou restauração, para garantir desempenho e serventia da estrutura durante sua vida útil. E, juntamente com essas ações surgem a geração dos resíduos oriundos do pavimento antigo, destinados a deposição em bota foras, o que causa uma preocupação ambiental. Dessa maneira, a busca por novas tecnologias de reaproveitamento de materiais provenientes dos serviços de restauração de pavimentos torna-se cada vez mais presentes no meio técnico.

Nesse contexto, tem-se que as pesquisas no âmbito da reciclagem de pavimentos e uso do material fresado no Brasil tem avançado no país, onde cada vez mais centros de pesquisas bem como órgãos de fomento e concessionárias tem percebido a importância dos processos e técnicas utilizados.

Contudo, conhecer as implicações da reciclagem de pavimentos, assim como analisar o comportamento do material oriundo da fresagem, seja em termos relacionados às práticas sustentáveis, economia, qualidade e, principalmente ao desempenho do material na concepção de novos pavimentos, passa a ser algo de grande valia.

2 JUSTIFICATIVA

A demanda por técnicas eficientes aplicadas aos projetos de construção, manutenção e restauração de pavimentos já é uma realidade. E a busca por alternativas que sejam economicamente sustentáveis tem ganhado dia após dia maior aceitação.

Dessa forma, diversos órgãos de pesquisas, bem como as empresas do setor de infraestrutura rodoviária, tem se atentado a aplicabilidade da técnica de reciclagem de pavimentos, onde, materiais que antes eram descartados, e que apenas aumentava o quantitativo de resíduos, tendem a ser empregados na concepção de novas misturas e ou como estabilizantes granulométricos de camadas da estrutura do pavimento.

A fim de estabelecer o uso deste material reciclado, que se trata de um material nobre, garantindo assim soluções economicamente viáveis, aplicadas à pavimentação. Tem sido bastante discutido a aplicação da técnica, com análises das propriedades do material, e com o monitoramento do nível de desempenho das camadas produzidas com a inserção de RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) e ou material fresado, dado comprovações que é um material que exerce um bom comportamento quando incorporado em novas dosagens. Segundo Specht *et al.* (2013), dentre as vantagens da reciclagem estão a redução nos custos de construção, na conservação de agregados e ligantes, na preservação da geometria do pavimento existente, na manutenção das condições de drenagem, na preservação do meio ambiente, na conservação de energia, na homogeneização estrutural, na readequação estrutural e na rápida liberação da pista.

Assim, a reciclagem pode ser considerada a solução mais viável, economicamente sustentável, visto a redução de custo final do processo comparado ao convencional e a preservação dos recursos naturais.

Diante da realidade do modal rodoviário ser o principal meio de transporte no Brasil, tem-se que os investimentos com a criação de novas redes de pavimentos, bem como as ações de restauração e reconstrução das já existentes, é algo que sempre existirá. Deste modo, surge uma preocupação, com o acúmulo de resíduos nos bota foras devida as ações de restauração e reconstrução.

Nesse sentido, a pesquisa é justificada devido a aplicabilidade do material fresado em misturas

asfálticas usinadas a quente, dado que as características funcionais e mecânicas das misturas com RAP são semelhantes ou até mesmo superiores à convencional. Assim, será possível reutilizar o material fresado e conseqüentemente um impacto direto na diminuição da deposição dos resíduos, resultando então numa menor necessidade de exploração das jazidas de agregados, e aplicação de métodos cada vez mais econômicos e sustentáveis.

3 OBJETIVO

A pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho mecânico de misturas asfálticas recicladas quente com a incorporação de material fresado, com foco na fadiga, de modo a analisar o comportamento com diferentes porcentagens de incorporação do material fresado, e comparar com mistura convencional e outra com 100% de RAP (reclaimed asphalt pavement), a fim de se obter parâmetros mecânicos, a serem julgados para utilização do fresado como material de construção para camadas de revestimentos de pavimentos.

4 METODOLOGIA

Os métodos da pesquisa se pautam na concepção de misturas com diferentes porcentagens de fresado como material de construção, sendo estas dosadas mediante a metodologia SUPERPAVE. Cujas incorporações pretendidas, são da ordem de 25% e 45% de material fresado em relação ao volume total de agregado da mistura, além da incorporação de um agente rejuvenescedor para devolver as propriedades originais do ligante oxidado presente na mistura, bem como uma mistura com 100% de material fresado.

Para isso foi feita toda a caracterização do material fresado, e para as diferentes incorporações será realizada a correção de traço por meio do método FAD e BAILEY a fim de se alcançar o Gmm e Gmb esperado para o teor ótimo da mistura.

Atendido as especificações da mistura realiza se toda a análise de desempenho mecânico por meio dos ensaios de módulo de resiliência e dinâmico, fluência, avaliação de desgaste, dando enfoque na vida de fadiga por flexão em 4 pontos, e compressão diametral.

5 RESULTADOS

As misturas asfálticas recicladas a quente apresentam uma eficácia bastante considerável quanto a deformação permanente, com módulos superiores comparadas às misturas convencionais, fato este que a utilização do fresado influencia positivamente no aumento da rigidez.

Presume-se que o comportamento da mistura seja diferente para cada percentual de incorporação, uma vez que foi analisada primeiramente a mistura com 100% de RAP.

Ao se fazer uma caracterização do material fresado e do agregado virgem, foram obtidos parâmetros de abrasividade, índice de forma, composição granulométrica, densidade do agregado graúdo e miúdo, bem como teor ligante do material, onde se tem que pelo fato da granulometria do fresado ser mais fechada com grande percentual de finos, e também devido a ação de desbaste, a mesma foi feita pelo ensaio de desgaste por impacto Marshall.

A tabela 1 evidencia os dados provenientes dos ensaios de densidade real dos agregados do fresado.

Tabela 1. Densidade do agregado graúdo miúdo e do fíller do fresado.

Agregado Graúdo	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desv. Padrão	Coef. Variação (%)
Densidade Real (g/cm ³)	2,771	2,758	2,723	2,751	0,025	0,9%
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,732	2,718	2,726	2,725	0,007	0,3%
Absorção (%)	0,53	0,52	0,51	0,52	0,010	1,9%
Agregado Miúdo	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desv. Padrão	Coef. Variação (%)
Densidade Real (g/cm ³)	2,758	2,762	2,771	2,764	0,007	0,2%
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,657	2,641	2,594	2,631	0,033	1,2%
Absorção (%)	0,61	0,59	0,615	0,605	0,013	2,2%
Filler	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desv. Padrão	Coef. Variação (%)

Densidade Real (g/cm ³)	2,703	2,698	2,676	2,692	0,014	0,5%	
Abrasividade (%)	16,9						
Índice de forma	0,645						

A granulometria do agregado do fresado foi possível realizar de duas maneiras, uma considerando o CAP presente no material, e a outra com a retirada do CAP do material por meio do extrator rotarex. Os Gráficos 1 e 2 evidenciam as curvas granulométricas para respectivas condições com o enquadramento das granulometrias nas faixas regulamentadas pelo DNIT.

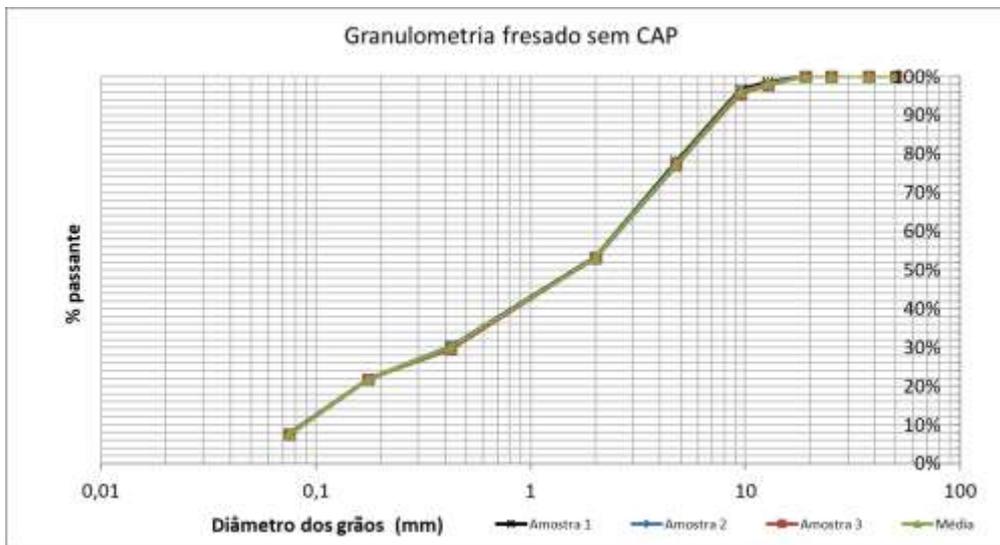


Gráfico 1-Curva granulométrica do fresado sem CAP.

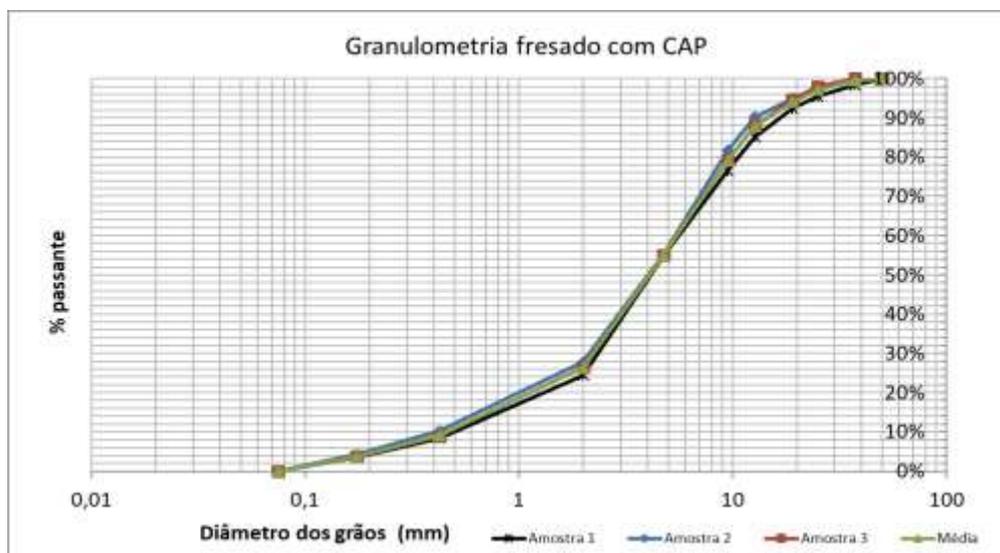


Gráfico 2- Curva granulométrica do fresado com CAP.

Já o agregado virgem a ser incorporado nas misturas, se trata do tipo Micaxisto, agregado este abundante na região do Centro-Oeste, com alta presença de xisto. De acordo com a Tabela 2 tem se a caracterização do agregado virgem.

Tabela 2- Enquadramento da granulometria do fresado com CAP nas faixas do DNIT.

AGREGADO VIRGEM (MICAXISTO)			
	Brita 1	Brita 0	Pó de pedra
Massa específica real (g/cm³)	2,78	2,79	2,81
Massa específica aparente (g/cm³)	2,74	2,73	2,78
Absorção	0,62	0,74	2,08
Adesividade	Insatisfatória		
Índice de forma	0,81	0,71	
Abrasividade	31,44%		

Quanto a percentagem de CAP presente no fresado, em função dos ensaios de extração por meio do rotarex e por meio da queima com forno mufla, foi possível estimar as seguintes percentagens, indicadas na Tabela 3.

Tabela 3- Percentula de CAP presente no fresado método rotarex e mufla.

Dados	Rotarex	Mufla
Média	6,03%	5,91%
Desv. Padrão	0,07%	0,12%
CV%	1,23%	1,10%

Após determinada a caracterização do fresado e do agregado virgem foi se possível realizar a caracterização do ligante envelhecido, como mostra Tabela 4. Onde a extração do mesmo foi por meio do rotarex com a solvente tricloroetileno e assim foi feito o processo de rotaevaporação da solução com a separação do ligante do solvente.

Tabela 4- Caracterização do CAP oxidado.

Ponto de Amolecimento - Anel e Bola (°C)					
°C	Esfera 01			Esfera 02	média
		61,2			67
Penetração (mm)					
Penetração (mm)	Leitura 01	Leitura 02	Leitura 03	Leitura 04	Leitura 05
	32	29	32	26	28
	MÉDIA		29,4		
Índice de Susceptibilidade térmica (IST)					
	0,59				
Ponto de Fulgor (°C)					
Temperatura (°C)	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	média	
	194,7	191,8	197,3	194,6	
Ductilidade					
Elasticidade (cm)	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	média	
	17,3	17,8	20,7	18,6	
O CP rompeu próximo dos 20 cm.					
Recuperação elástica - método Ductilômetro (15+/- 5 cm)					
Recuperação (cm)	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03		
	3,1	2,7	2,9		
Recuperação (%)	20,7%	18,0%	19,3%	19,3%	
Densidade do CAP oxidado					
Densidade	1,14				
Viscosidade					
Temperatura °C	135		150	177	
Viscosidade (Pa.s)	0,6006		0,5283	0,4171	

Além da caracterização do ligante oxidado e envelhecido foi realizado também a caracterização do ligante virgem. Onde este ligante também faz parte dos componentes das misturas recicladas na determinação do teor ótimo para cada mistura específica. Os dados provenientes da caracterização do ligante virgem são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5- Caracterização do CAP virgem (50/70).

Ponto de Amolecimento - Anel e Bola					
°C	Esfera 01		Esfera 02		média
		48,2		48,4	
Penetração (mm)					
Penetração (mm)	Leitura 01	Leitura 02	Leitura 03	Leitura 04	Leitura 05
	54,5	54	53	53	54
		MÉDIA	53,7		
Índice de Susceptibilidade térmica (IST)					
IST	-1,47				
Ductilidade					
O CP não rompeu ao chegar nos 100 cm.					
Recuperação elástica - método Ductilômetro (20cm)					
Recuperação (cm)	CP 1	CP2	CP3		
	1,9	2	2,1		
Recuperação (%)	9,5%	10,0%	10,5%		10,0%
Densidade do CAP oxidado					
Densidade	1,0117				
Viscosidade					
Temperatura °C		135	150	177	
Viscosidade (Pa.s)		0,342	0,171	0,058	

Como parâmetro de caracterização foi se realizado o ensaio de viscosidade rotacional (ASTM D 4402/15), no viscosímetro Brookfiel em três temperaturas 135 °C, 150 °C e 177 °C para ambos os ligantes tanto o oxidado, quanto o ligante virgem para determinação da temperatura ideal de mistura e de compactação. Cujo Gráfico 3 evidencia a relação entre a viscosidadedínâmica do ligante oxidado pela temperatura, e o Gráfico 4 refere se a do ligante virgem.

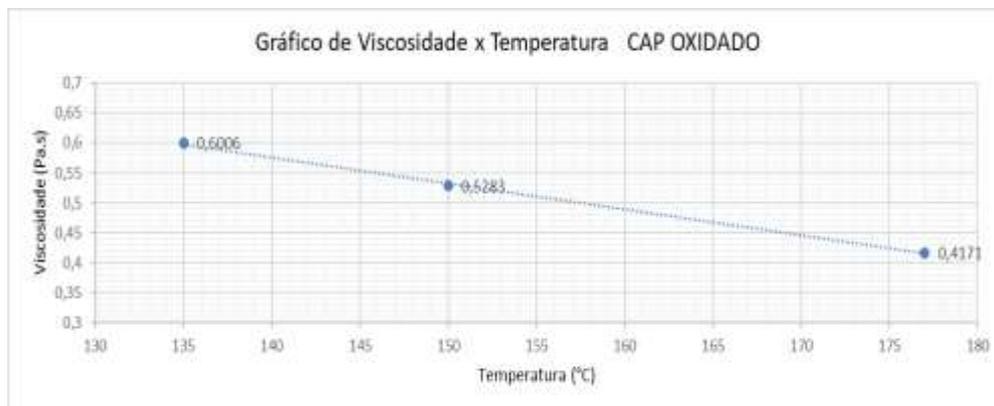


Gráfico 3- Curva da viscosidade do CAP oxidado.

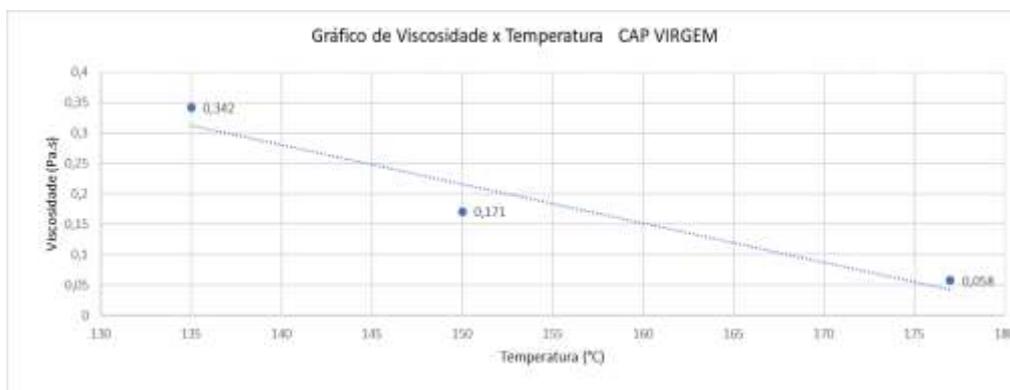


Gráfico 4- Curva da viscosidade do CAP virgem .

Pode se notar que a variabilidade da viscosidade rotacional do ligante oxidado para o virgem é

evidente, em função do ligante oxidado ser mais viscoso e apresentar uma rigidez elevada se comparado ao CAP virgem.

Em função da viscosidade do ligante oxidado para obtenção das misturas chegou se que as misturas com 100% de fresado serão moldadas mediante critério de dosagem Superpave, com temperatura de mistura a 143°C e temperatura de compactação em 133°C.

Assim com a execução do ensaio Rice Teste chegou se a um Gmm 2,435g/cm³ e foi possível dosar as misturas e compactar adotando como critério de parada a altura final do corpo de prova mediante o número de vazios estimado, variando entre 4% e 7%.

Dentre as execuções dos ensaios mecânicos que foram realizados e ainda os que serao tem se que foram feitos O ensaio de dano por umidade induzida cujo RRT encontrado foi de 63,5 mediante uma média sem dano com resistência a tração média de 1,86 Mpa. Ensaio de desgaste Cantabro com desgaste médio em torno de 9,11% conforme Figura 1.



Figura 1- CP 100% RAP após desgaste Cantabro (Autor 2020).

Quanto aos ensaios de módulo resiliente (DNIT ME-135/2018) e de fadiga por compressão diametral (DNIT ME-183/2018), os mesmos estão em fase de execução, conforme Figura 2. Sendo que após dados destes pretende se efetuar as incorporações de 25% e 45% de gresado nas misturas e refazer as análises de fadiga do material.

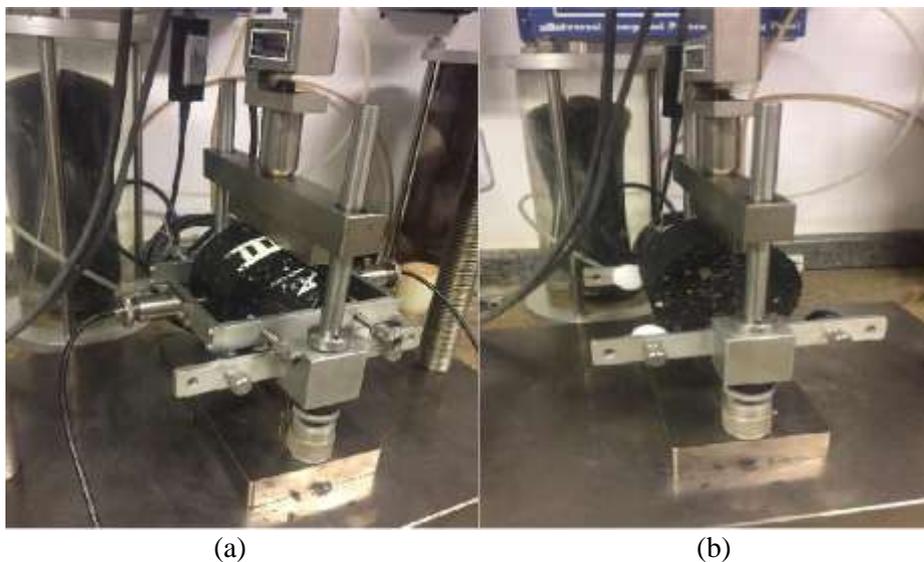


Figura 2- CP 100% RAP; (a) ensaio de fadiga por compressão diametral; (b) ensaio de módulo resiliente (Autor 2020).

6 CONCLUSÕES

Os resultados até então obtidos evidenciam que as misturas recicladas possuem um elevado módulo de resiliência devida alta rigidez do material, tendo assim os corpos de prova ensaiados com 100% de material fresado, uma baixa deformabilidade, o que já era presumido.

Quanto aos ensaios de fadiga por compressão diametral (DNIT ME-183/2018), realizados em misturas com 4 percentuais de cargas admissível sendo as escolhidas, 10% 20% 30% e 40% em função da



carga de resistência a tração, estes estão em fase de execução cujo critério de parada do ensaio está sendo pela ruptura do corpo de prova e ou com completos 1.000.000 de pulsos, dentro do intervalo de aplicação de carga de 0,1 segundo e repouso em 0,9 segundos.

A constatação da fadiga por flexão (em 4 pontos de barra prismática, este também está em fase de execução, sendo que após ensaio os corpos de prova com 100% de fresado, serão ensaiados as percentagens de 25% e 45% de incorporação.

Entretanto com estes ensaios espera-se determinar o desempenho à fadiga dessas misturas, avaliando o percentual de trincamento, bem como a avaliação do desgaste por meio do simulador de tráfego, o que já se presume apresentar uma boa resistência a deformação permanente devida alta rigidez do material incorporado.

REFERÊNCIAS

ASTM - American Society for Testing and Materials (2015) *D 4402 – Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer.*

DNIT_____. ME 135: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017, 13p.6

DNIT_____. ME 183: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral a tensão controlada – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

Pesquisa CNT de Rodovias 2018- PRINCIPAIS DADOS : Disponível em:
https://cms_pesquisarodovias.cnt.org.br/PDFs/Resumo_Principais_Dados_Pesquisa_CNT_2

SPECHT, L. P.; PIRES, G. M.; VITORELLO, T.; HIRSH, F.; CRONST, F.; BERGMANN, E. C.; TIEFENSEE, M. D. Utilização de material fresado como camada de pavimento: estudo laboratorial e aplicação em campo. In: 42ª Reunião Anual de Pavimentação, 2013. Rio de Janeiro: ABPv, 2013.