

BLOCOS INTERTRAVADOS EM CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO À QUENTE CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA

G.S.Aguilar¹; F.R.G. Padula²; C.J. Martins³

1,2,3 Centro federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais
Av. Amazonas, 7675, BH, MG – gil.eng@hotmail.com

RESUMO

O trabalho busca contribuir para o estudo de viabilidade técnica do reuso do Concreto Asfáltico Fresado (CAF), proveniente das atividades de manutenção da pavimentação asfáltica, na confecção de Piso Asfáltico Reciclado (PAR). O CAF foi caracterizado fisicamente e por Termogravimetria (TGA), posteriormente, definidas as propriedades mecânicas da mistura asfáltica produzida com 100% de fresado. Foram moldados corpos de prova pela metodologia Marshall para ensaios de resistência a compressão, tração por compressão diametral, absorção de água, ensaio cântabro, abrasão profunda e módulo de resiliência. A Resistência a compressão apresentou valores entre 9,66 e 14,06MPa. O ensaio de Resistência a Tração por compressão diametral mostrou valores entre 2,21 e 3,77MPa. Os elementos apresentaram baixa absorção de água. A perda de material no ensaio Cântabro ficou abaixo de 25%, atendendo aos requisitos da norma DNER-ES 386/99 e com boa resistência a abrasão profunda, quando comparados a elementos pré-moldados de concreto com cimento Portland. O resíduo estudado apresenta potencial para ser utilizado como elemento de piso intertravado para execução de ciclovias, praças e outros locais de baixa solicitação de carga, apresentando conjunto de características mecânicas próximas às mínimas exigidas em normas internacionais para este tipo de aplicação.

Palavras Chave: Reciclagem; Fresado de asfalto; Pisos Asfálticos; Pisos intertravados.

INTRODUÇÃO

O processo de manutenção de pavimentos flexíveis inclui a fresagem do material deteriorado da camada de rolamento, obtendo-se assim o Concreto Asfáltico Fresado⁽¹⁾. O CAF, material composto por agregados soltos recobertos por ligante asfáltico apresenta-se oxidado e com curva granulométrica com elevado teor de finos devido ao processo de fresagem. A disponibilidade e geração de CAF são abundantes, o processo de manutenção de pavimentos asfálticos demanda a fresagem e recapeamento com certa frequência, sendo assim uma fonte contínua de geração de resíduos.

A reutilização do CAF tem ocorrido principalmente como material para construção de revestimentos primários de vias não pavimentadas e bases de pavimentos, utilizações essas onde o fresado é aplicado a frio sem qualquer tipo de tratamento⁽²⁾.

Na tentativa de se identificar adequada aplicabilidade de 100% de CAF reciclado a quente sem qualquer necessidade de processamento para correção da granulometria ou adição de rejuvenescedores para diminuição da rigidez do ligante asfáltico envelhecido, investigou-se a possibilidade de uso da mistura reciclada para produção de Piso Asfáltico Reciclado (PAR). Adotou-se a hipótese de que a rigidez da mistura com 100% de CAF, resultante do asfalto oxidado e do excesso de agregados finos, possam ser características que contribuam para o bom desempenho do PAR. Piso Asfáltico é aqui definido como camada de concreto asfáltico que constitui a superfície destinada ao trânsito de pedestres e bicicletas e sua utilização em passeios, praças, ciclovias, dentre outros.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar o CAF identificando os percentuais de asfalto presente, a distribuição granulométrica, bem como as propriedades de massa da mistura e do agregado in natura, a influência destas características no desempenho mecânico do PAR em relação a resistência a tração por compressão diametral, compressão simples, abrasão profunda, ensaio cântabro e módulo de resiliência, avaliando também a necessidade de adição de ligante asfáltico virgem na reciclagem de 100% de CAF e a viabilidade técnica de uso do Concreto Asfáltico Reciclado a Quente (CARQ) como Piso Asfáltico Reciclado Intertravado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado foi disponibilizado pelo DNIT, sendo as amostras oriundas de material fresado da rodovia BR-040, nas proximidades da cidade de Belo Horizonte/MG e é representado por fresados oriundos de três trechos distintos, separados em material (A), (B) e (C) e testados segundo os requisitos normativos e fluxograma experimental apresentado na figura 1.

Em inspeção visual, o Material (A) aparentemente apresentou pequenos pontos de material terroso, possivelmente oriundos do processo de fresagem mais profunda ou interferência com horizontes heterogêneos das camadas de rolamento da via, a qual tenha sido contaminada com pequenos fragmentos da base. O Material (B), um material visualmente mais limpo e homogêneo com coloração mais escura, típica de fresagem de camada de rolamento com profundidades menores, não apresentando sinais de contaminação por agregados da base e finalmente o Material (C), que se apresenta

mais fragmentado, mas também com aparência homogênea, sem sinais de contaminação com material da base do pavimento.

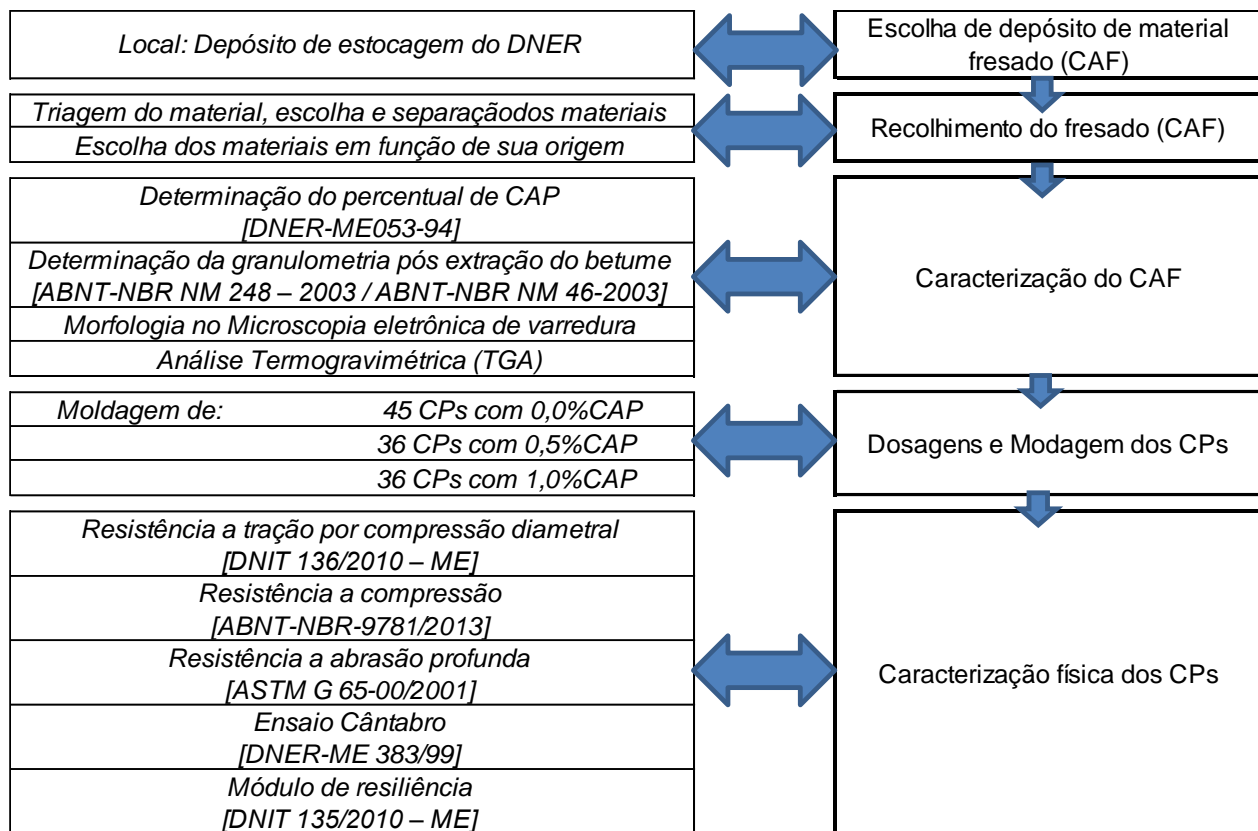


Figura 1 - Fluxograma de trabalho

O objetivo consistiu na reciclagem do pavimento em uma escala de 100% de CAF. Foi avaliada também a adição em peso de 0,5% e 1,0% de CAP 50/70/Petrobrás novo, nas misturas das três origens, com a finalidade de verificar possíveis alterações no comportamento mecânico dos elementos moldados e fornecer parâmetro para a definição do melhor custo benefício nas propriedades finais das misturas asfálticas recicladas.

Os corpos de prova foram moldados pela metodologia Marshall segundo a norma DNER–ME 43/95 - Ensaio Marshall e em seguida caracterizados mecanicamente de acordo com os procedimentos de normas específicas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O percentual de CAP presente no CAF, após a extração com a utilização de Tricloroetileno foi de 5,83% para o material (A), 7,42% para o material (B) e 6,71% para

o material (C), conforme pode ser identificado na tabela 1. Análise comparativa entre os métodos de extração de ligante, para misturas de referência, apresentou valores superiores aos teores reais, tendo como possíveis causas a perda de finos durante o processo de centrifugação ⁽³⁾. Entretanto outros fatores também podem levar a variações nos resultados, como a absorção do agregado utilizado na mistura ⁽³⁾.

Tabela 1 - Teores de betume para CAF ensaiados

Amostras (%)	1	2	3	Média	Desvio Padrão	Variância
Material (A)	5,80	5,71	5,97	5,83	0,1320	0,0174
Material (B)	7,02	7,76	7,49	7,42	0,3745	0,1402
Material (C)	6,53	6,67	6,94	6,71	0,2084	0,0434

Nascimento (2011), em ensaio para determinação do teor de betume do material fresado, utilizando o Xileno como solvente, chegou a valor médio de 6,3%, o que demonstra coerência de resultados para materiais extraídos da pavimentação asfáltica.

Após a extração do CAP todo o material em estado natural foi separado em frações finas e grossas e o peneiramento mecanizado realizado. As curvas granulométricas resultantes dos ensaios e que caracterizam as três origens estão plotadas na figura 2.

O resultado dos fresados de origem (A) e (B) apresentaram porcentagem de finos, em comparação aos limites da faixa “C” do DNIT, no limiar da curva superior e o fresado de origem (C) extrapolou este limite, que se referem a dosagens de misturas convencionais utilizadas na pavimentação. Estes percentuais elevados de finos já eram esperados, visto que no processo de fresagem ocorre a quebra/fratura dos agregados. Contudo, o histórico de manutenção desta camada de rolamento também pode levar a diferenças na granulometria do CAF caso o controle da granulometria, nestes vários processos, não tenha sido rigoroso, mas sempre tendenciando a uma elevação do percentual de finos na mistura. É confirmado que o excesso de finos modifica algumas propriedades mecânicas da mistura, tais como: diminuição da suscetibilidade térmica, aumento no ponto de amolecimento, aumento da viscosidade do asfalto, da estabilidade, do módulo de resiliência e da resistência à tração ⁽⁴⁾.

É sabido também que o excesso de finos produz misturas com menor tendência a fendilhamento, pois os finos em maior quantidade diminuem a segregação superficial do material ⁽⁵⁾. Propriedades que podem contribuir para a aplicação proposta.

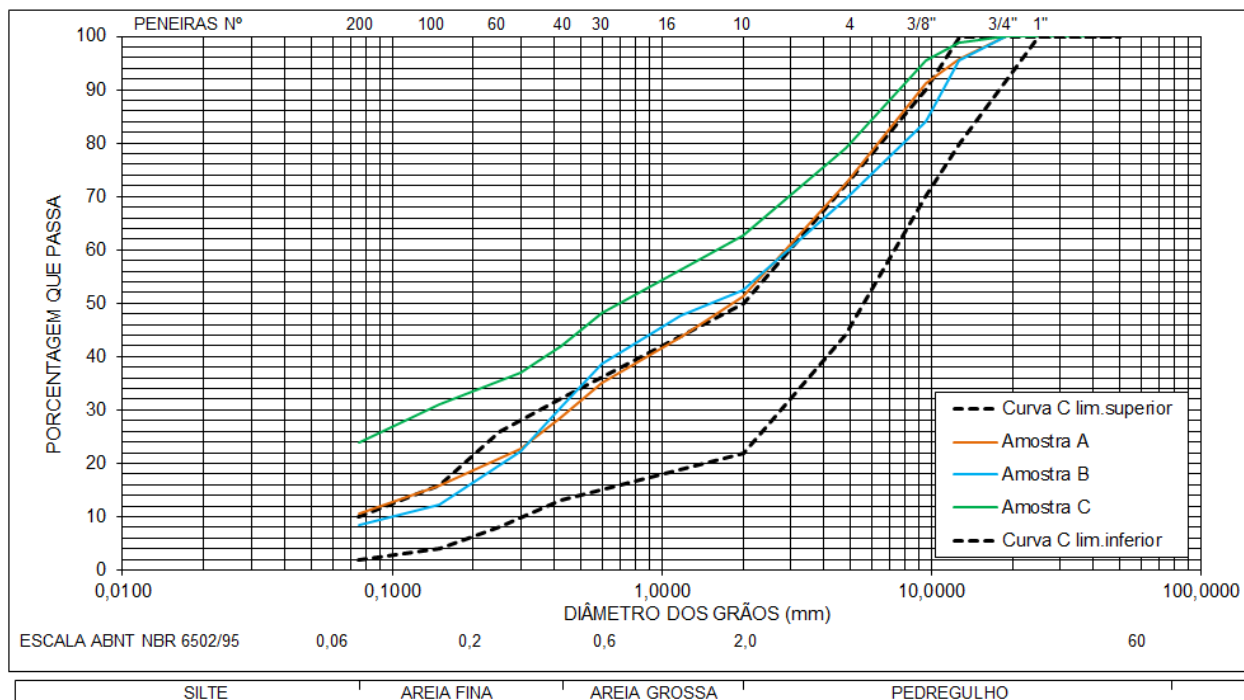


Figura 2 - Curva granulométrica Materiais (A), (B) e (C)

A análise térmica nos fresados in natura teve como objetivo identificar possíveis diferenças entre os materiais (A), (B) e (C), de forma a classificar as origens de acordo com o grau de oxidação apresentado, assim, permitindo fazer as relações dos níveis de degradação com as características mecânicas apresentadas pelos corpos de prova. As amostras foram retiradas do centro de grumos de fresado e todas elas continham mistura composta por agregados miúdos e asfalto. Como definido em literatura, o material que oxida em uma mistura asfáltica é o ligante, entretanto, foi proposta a análise da mistura agregado/ligante com a finalidade de manter as características reais do CAP, pois para a separação dos constituintes, no método de extração, há o risco de ocorrer processos que promovam algum tipo de degradação a mais no ligante, provocando alteração de suas propriedades. Entretanto foi realizado também o mesmo ensaio para a amostra de asfalto virgem, utilizada nas adições propostas às misturas, de forma a associar a perda de material com o nível de oxidação destes materiais.

Como pode ser observado pela figura 3, ao se comparar a perda de massa no processo de aquecimento controlado, verifica-se que o material (B) foi o que perdeu

menor massa percentual, seguida do material (A) e posteriormente o (C). Desta análise é possível supor que em uma classificação de degradação, o material que perdeu menor massa percentual é o que se apresenta mais degradado, e esta definição se baseia no fato que, parte dos constituintes voláteis que compõem a mistura já havia sido perdida durante o processo oxidativo decorrente do uso, vinculado a sua exposição às intempéries, sol, chuva, carregamentos e demais agentes responsáveis pelo envelhecimento do asfalto.

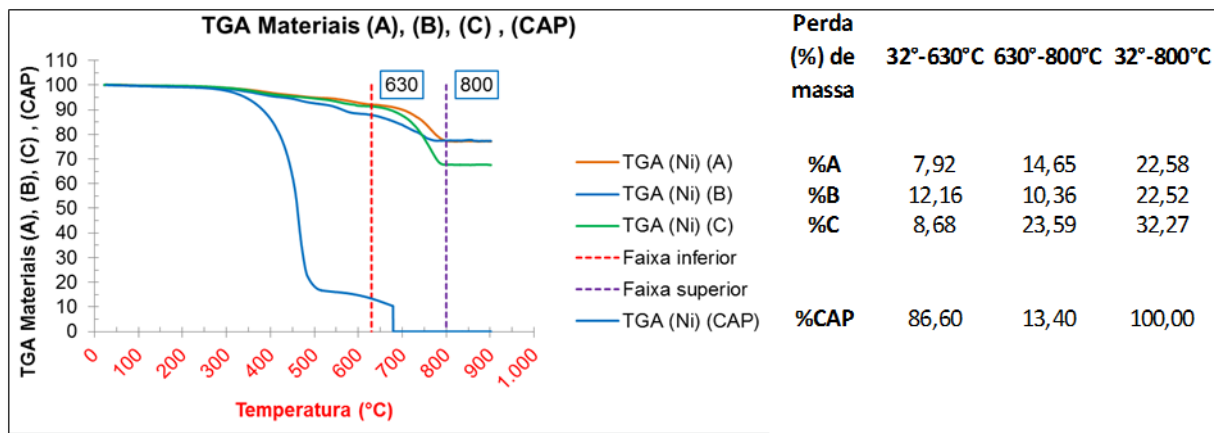


Figura 3 - Gráfico TGA e perda percentual de massa

Verifica-se para o CAP menor estabilidade térmica, em comparação às misturas, apresentado curva deslocada para a esquerda, com perda de massa ocorrendo a temperatura inferior à das misturas, fato condizente com os estudos de Araújo, (2012), onde é indicado que a estabilidade térmica do ligante e sua temperatura de degradação aumentam com o envelhecimento.

Através das imagens dos grumos de fresado geradas no (MEV), ilustradas na figura 4, os materiais (A) e (B) apresentam relevo e topografia bem similares e com a presença de alguns sulcos ou cavidades dispersas nas imagens que podem não estar relacionadas a poros abertos nas misturas, mas sim ao deslocamento dos agregados no processo de seccionamento do material para o preparo das amostras. O material (C) apresenta-se mais fragmentado e com presença maior de materiais particulados aderidos aos grumos do fresado. Mostra-se coerência entre as imagens obtidas no (MEV) e as curvas granulométricas dos agregados que compõem o CAF. Nota-se também em todos os materiais uma estrutura fechada, composta por agregados imersos em uma massa de ligante, estrutura bem compacta e densa, de características

homogêneas e pouca presença de poros, o que sugere provavelmente ser uma estrutura de baixa absorção de água.

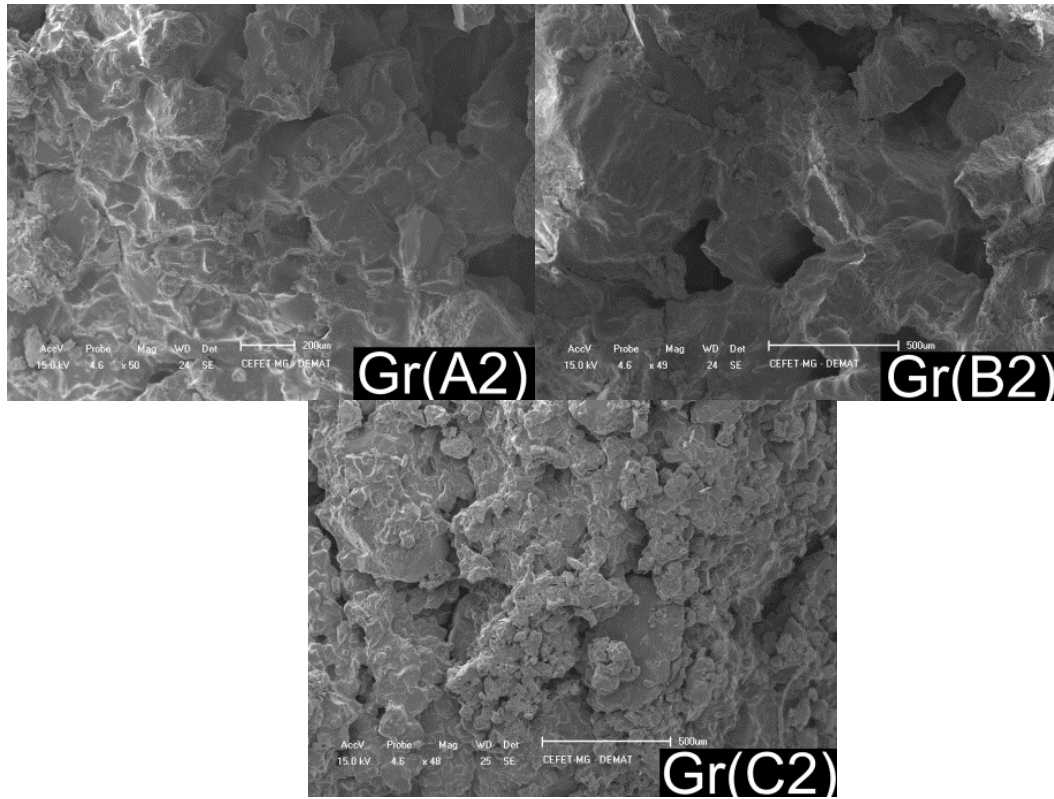


Figura 4 - Topografia dos grumos dos Materiais (A),(B) e (C)

Pela constituição do fresado, que possui como componente o CAP, um aglutinante impermeabilizante, espera-se um valor de absorção bem inferior para todas as peças pré-moldadas quando comparadas aos Pavers de concreto com cimento Portland. Para o índice de vazios, considerando que este ensaio correlaciona os volumes de poros permeáveis e o volume total, quando se tem elementos com baixa absorção de água, induzida pela impermeabilização das faces do CP pelo ligante, o conjunto também tenderá a apresentar baixo valor para o índice de vazios. O material (C) que possui a maior quantidade de materiais finos apresentou os menores valores de absorção de água e índice de vazios.

Desta forma, considerando estes dois índices, quando comparados a elementos de pavimentação intertravada de concreto com cimento Portland, seus valores indicam que estas peças estarão menos sujeitas à penetração de água em seus poros e conseqüentemente menos propensas às ações químicas e físicas que ocorrem nas

peças de concreto e que estão ligadas diretamente à durabilidade do pavimento intertravado.

Observa-se de acordo com a figura 5 que o índice de vazios tende a diminuir com o aumento do percentual de CAP para as amostras dos materiais (A) e (B) e pouca variação para o fresado de origem (C), fato também direcionado para a curva granulométrica deste material, indicando que o maior teor de finos garante uma amostra mais compacta e com menos poros. É verificado que à medida que se adiciona CAP nas misturas dos materiais (A) e (B) ocorre redução nos índices de absorção. O ligante asfáltico auxilia no fechamento dos poros dos CP's e na interação entre os agregados.

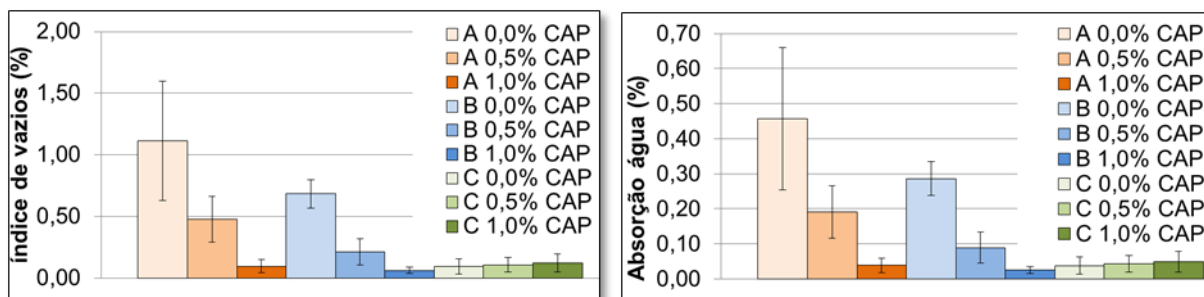


Figura 5 – Índice de vazios e absorção de água dos Materiais (A), (B) e (C)

Em relação à resistência a tração por compressão diametral foi observada uma variação de 170% entre o maior e o menor valor dentre as dosagens de CAP para as três origens, sendo o menor 2,21MPa e o maior 3,77MPa, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Resistência à tração por compressão diametral Mat. (A), (B) e (C)

%CAP	Tensão (MPa)		
	Amostra A	Amostra B	Amostra C
0,0%	2,54	2,74	2,36
0,5%	3,77	3,37	2,46
1,0%	3,10	3,14	2,21

Ao serem confrontados ao valor de referência da norma DNIT 031/2006, que estabelece o valor mínimo de RT em 0,65MPa para misturas novas, as resistências apresentaram respectivamente variação de 340% a 580% acima deste valor. Quando se compara com a norma Sul Africana (SANS 1058-2012), na qual especifica que os Paviers de concreto de cimento utilizados em pavimentação intertravada devem possuir resistência a tração variando entre 2,0MPa e 2,6MPa, observa-se que todos os corpos de prova atenderam a este quesito.

As resistências à compressão alcançadas pelos corpos de prova quando comparadas com a norma de referência para elementos de concreto NBR-9781/2013, são bem inferiores, com valores variando entre 9,66MPa e 14,06MPa, de acordo com a tabela 3. Entretanto, esta norma não possui faixa de utilização exclusiva para pisos com tráfego de pedestres e bicicletas, e se aplica tanto para locais de baixa solicitação de cargas, como de alta, determinando que a resistência atenda ao que for mais restritivo, exigido neste caso, o mínimo de 35,0MPa.

Contudo, quando se compara estes valores com referências da norma (SANS 1058-2012), da África do Sul, país em que os estudos sobre pavimentação intertravada está bem mais evoluído que no Brasil, verifica-se que a exigência mínima requerida nesta nação é de apenas 25 MPa para locais com tráfego leve, apresentando elementos com qualidade comprovada e durabilidade já atestada. Partindo deste pressuposto, há margem para novas discussões sobre a possibilidade de aceite de resistências ainda menores, principalmente se estiver trabalhando com elementos pré-moldados que apresentem valores excelentes em outras propriedades, as quais estão desvinculadas do fator resistência mecânica, entretanto, ligadas diretamente à qualidade e durabilidade do conjunto piso/elemento intertravado. Dentre estas propriedades, podem ser citadas: baixa absorção de água e índice de vazios, boa resistência à abrasão e à tração.

Tabela 3 - Resistência à compressão Materiais (A), (B) e (C)

%CAP	Fpk (MPa)		
	Material (A)	Material (B)	Material (C)
0,0%	12,99	11,56	10,60
0,5%	11,84	11,85	10,93
1,0%	14,06	12,34	9,66

Os resultados do ensaio de abrasão profunda, conforme tabela 4, apresentaram para o caso mais favorável, desgaste acumulado de 10,84g para elemento de 12,34MPa de resistência a compressão, que quando comparados aos resultados de Sant'Ana Filho (2013), em ensaio que considera as mesmas condições de contorno, e utiliza elemento de concreto com 48,69MPa apresentando desgaste acumulado de 7,35g em duas horas de ensaio, os resultados das misturas asfálticas podem ser considerados satisfatórios. Para o ensaio, ao se adicionar CAP à mistura, ocorre redução nos valores de perda de massa dos elementos.

Tabela 4 - Resultados de resistência a abrasão profunda Materiais (A), (B) e (C)

Amostra A	Resultados do ensaio de abrasão leituras (g)							Desgaste Acumulado (g)	Média (g)
	Tempo em minutos								
	0	20	40	60	80	100	120		
0,0% CAP	0,00	3,18	2,85	2,95	3,01	2,83	2,82	17,64	2,94
0,5% CAP	0,00	3,07	3,05	2,69	2,73	2,60	2,45	16,60	2,77
1,0% CAP	0,00	2,93	2,70	2,62	2,63	2,62	2,58	16,08	2,68
Amostra B	Resultados do ensaio de abrasão leituras (g)							Desgaste Acumulado (g)	Média (g)
	Tempo em minutos								
	0	20	40	60	80	100	120		
0,0% CAP	0,00	2,50	2,48	2,50	2,31	2,35	2,35	14,49	2,42
0,5% CAP	0,00	2,57	2,29	2,11	2,09	2,19	2,15	13,42	2,24
1,0% CAP	0,00	2,00	2,00	1,83	1,81	1,67	1,53	10,84	1,81
Amostra C	Resultados do ensaio de abrasão leituras (g)							Desgaste Acumulado (g)	Média (g)
	Tempo em minutos								
	0	20	40	60	80	100	120		
0,0% CAP	0,00	2,68	2,73	2,70	2,65	2,50	2,30	15,56	2,59
0,5% CAP	0,00	2,89	2,78	2,76	2,24	2,21	2,19	15,08	2,51
1,0% CAP	0,00	2,39	2,37	2,31	2,58	2,45	2,43	14,54	2,42

O ensaio cântabro determina a perda de material com o impacto ou atrito e segundo as referências normativas brasileiras este valor não deve ultrapassar 25%. De acordo com Bernucci et al. (2008) quanto menor a perda de massa, melhor será a resistência à desagregação do elemento.

Os resultados do ensaio Cântabro estão indicados abaixo conforme tabela 5, sendo observado que as misturas que apresentam maior teor de finos tiveram um desempenho melhor que as demais. Verificou-se também, que o acréscimo de ligante nas misturas contribui de forma significativa na redução da perda de massa.

Tabela 5 - Ensaio cântabro Materiais (A), (B) e (C)

%CAP	Desgaste percentual (%)		
	Material (A)	Material (B)	Material (C)
0,0%	22,08	15,20	7,95
0,5%	15,33	12,24	6,61
1,0%	9,82	10,21	5,43

Os resultados do módulo de resiliência classificaram as amostras conforme grau de oxidação e envelhecimento em material (B), seguido do (A) e menos oxidado o material (C), de acordo com os valores apresentados na tabela 6. Estes valores são superiores as médias encontradas para misturas asfálticas convencionais utilizando CAP novo, demonstrando que as amostras são compostas por materiais oxidados em percentuais diferentes de degradação e em consonância com os resultados da Termogravimetria.

Tabela 6 - Módulo de resiliência dos Materiais (A), (B) e (C)

	Material (A)	Material (B)	Material (C)
MR Médio dos CP's (kgf/Cm ²)	152.746	262.549	68.658
RT(kgf/Cm ²)	25,90	27,94	24,07
MR/RT	5897	9397	2853

CONCLUSÕES

Na caracterização do fresado os ensaios indicaram que seus constituintes apresentam conjuntos de características favoráveis à aplicação proposta.

Para os ensaios de abrasão, absorção e índice de vazios, conclui-se que não justificam as adições propostas de CAP, pois os resultados da mistura sem acréscimo de ligante estão abaixo das referencias normativas. Os ensaios de RC apresentaram tendência diferenciada para as três origens em função das adições de CAP novo à mistura e não foi possível definir de forma clara o real comportamento com o acréscimo de ligante. Entretanto, o ensaio de RT apresentou tendência a maior resistência com acréscimo de 0,5% de CAP e saturação da curva com 1,0% de CAP.

As três origens possuem propriedades físicas e mecânicas diferentes e os estudos indicam que independente do local de retirada, os resíduos apresentam conjunto de características favoráveis à aplicação proposta.

Todavia, apesar dos resultados da resistência a compressão ser inferior às referências normativas, vislumbra-se a viabilidade técnica do uso do CARQ como Piso Asfáltico Reciclado Intertravado. Contudo, faz-se necessário que novas pesquisas venham a contribuir para ampliar o conhecimento sobre o comportamento deste resíduo para esta aplicabilidade;

REFERÊNCIAS

- (1) FHWA. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments - FHWA- 98-042. ADMINISTRATION, F. H. Washington 1997.
- (2) ZAUMANIS, M.; MALLICK, R.B.; FRANK, R. **100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis**. Worcester Polytechnic Institute (WPI), 100 Institute Road, Kaven Hall, Worcester, MA, United States. 2014.
- (3) ROSSATO, F. P et al. **Análise de dispersão de resultados do controle de teor de ligante de misturas asfálticas a partir do Rotarex**. 43º RAPv e 17º ENACOR. Maceió, AL, p.12. 2014.

- (4) NASCIMENTO, Maria das Vitórias. **Estudo do comportamento mecânico de misturas Asfálticas recicladas**. 2011. 123f. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2011.
- (5) HARMELINK, D. P. E.; Shuler, S.; Aschembrener, P. E. **Top-down cracking in asphalt pavements, causes, effects and cures**. 2008. Journal of Transportation Engineering. American Society of Civil Engineers, Vol. 134, Nº 1, pp. 1-6.
- (6) ARAÚJO, M. F. A. S. **Efeito da radiação solar no envelhecimento de ligantes asfálticos modificados**. 121f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2012.
- (7) RPF, (2012) NEW DEVELOPMENTS WITH SANS 1058: ROAD PAVEMENTS FORUM 8 MAY 2012 Presented by John Cairns
- (8) SANT'ANA FILHO, Joaquim Nery. **Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados**. 2013. 130f. Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG. Belo Horizonte/MG. 2013.
- (9) BERNUCCI, LiediBariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 3 ed. 504 p. Reimp. Rio de Janeiro: Abeda, 2008.

BLOCKS INTERLOCKED CONCRETE ASPHALTIC RECYCLED TO HOT CONTRIBUTION TO THE TECHNICAL FEASIBILITY STUDY

ABSTRACT

The work seeks to contribute to the technical feasibility study of the reuse of Concrete Asphalt Milling - CAF, from the maintenance activities of asphalt paving, in the manufacture of Recycled Asphalt floor (PAR). The CAF was characterized physically and thermogravimetry (TGA) and subsequently defines the mechanical properties of the asphalt mixture produced with 100% milled. They were molded test specimens by Marshall methodology for compressive strength tests, diametrical compression strength, water absorption, Cantabrian test, deep abrasion and resilient modulus. The resistance to compression presented values between 9.66 and 14,06MPa. The test Tensile Strength for diametrical compression showed values between 2.21 and 3,77MPa. The elements had low water absorption. The loss of material in the Cantabrian test was below 25%, meeting the requirements of DNER-ES 386/99 standard and good resistance to deep abrasion when compared to precast concrete with Portland cement. The residue studied has the potential to be used as floor element interlocked for executing cycle paths, plazas and other low load request sites presenting set near the minimum mechanical characteristics required by international standards for this type of application.

Keywords : Recycling ; Milled asphalt ; Asphalt floors ; Floors interlocked .