

# Avaliação de misturas com material fresado estabilizado com cimento, cal e rocha basáltica pulverizada para emprego em pavimentação

Anderson Cristiano Rolim

Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria - RS, Brasil, anderson\_017@hotmail.com

Tatiana Cureau Cervo

Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria - RS, Brasil, cervo.tatiana@gmail.com

Gabriela Fanck dos Santos

Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria - RS, Brasil, gabbi1112@hotmail.com

**RESUMO:** A busca pela utilização do material fresado ou Reclaimed Asphalt Pavement, oriundo da manutenção de pavimentos asfálticos, está em foco no mundo acadêmico. Sua utilização como agregado em substituição ao material virgem, diminuiria custos e o impacto ambiental para novas obras viárias. Para tanto, é necessário avaliar os parâmetros de resistência mecânica desse material em misturas que substituem o agregado natural pelo RAP. Assim para o uso do fresado, este trabalho utilizou a estabilização química com adições de cimento Portland e cal, e a estabilização granulométrica através de uma curva definida em norma. Os percentuais de cal adotados foram de 3% e 6%, e de 4% e 5% para o cimento Portland CP-IV. As energias de compactação usadas foram a normal, intermediária e modificada do protocolo de Proctor. Os ensaios laboratoriais realizados foram de Resistência à Compressão Simples (RCS), Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD), Resistência à Tração na Flexão (RTF) e Módulo de Resiliência (MR). Observou-se ganhos de resistência com acréscimos de percentual de cimento e com a adição da cal. Também ocorreu ganho de resistência com o aumento do grau de compactação. Evidenciado que a utilização do material fresado em substituição ao agregado natural é possível.

**PALAVRAS-CHAVES:** RAP. Compactação. Resistência. Substituição.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais descartados ou rejeitos como matéria prima para a construção ou ampliação de obras é uma grande vantagem, pois diminui a extração de material virgem, minimizando o gasto energético na produção e no transporte desses materiais. Está de acordo com a preocupação mundial para a diminuição da emissão de gases como o dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>), além de uma considerável redução de custos tanto no transporte como na produção desses materiais.

Assim, o uso do material fresado em substituição ao agregado natural é uma solução para diminuição de custos e colaborar com a redução da extração de material virgem. Atualmente no Brasil, o emprego de bases granulares é o mais corriqueiro para a construção de pavimentos flexíveis, pois a partir da

formação do esqueleto mineral e do travamento interno dos agregados, obtém-se características para o suporte das solicitações do tráfego. A brita graduada simples (BGS) e a brita graduada tratada com cimento (BGTC) apresentam, quando compactadas adequadamente e devidamente enquadradas em faixas granulométricas, grande estabilidade e durabilidade (MOURA, 2013).

Desta forma, as pesquisas relacionadas com a reutilização do *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) vem em busca de relações entre a resistência e a rigidez das misturas com o teor de material cimentante e seu respectivo grau de compactação, comparando tais resultados, com os obtidos fazendo o uso de material natural, para então construir uma camada de BGS ou BGTC. A procura de parâmetros para correta dosagem, a qual utiliza o material

fresado em substituição ao agregado natural, possibilitaria a sua aplicação em camadas de base ou sub-base.

As misturas com RAP, trazem a incorporação da rocha basáltica pulverizada a fim de enquadramento em uma curva granulométrica padrão. A adição do material cimentante vem a colaborar para a melhor união entre os agregados (RAP e pó) promovendo a estabilização química, a fim de se garantir a melhor resistência final após a compactação (SILVA, 2018).

De acordo com as revisões bibliográficas, a partir de estudos realizados por outros pesquisadores (MOREIRA, 2006; PASCHE, 2016; SILVA 2018), é necessário a adição de material miúdo no RAP para o devido enquadramento em uma curva granulométrica normatizada. Segundo os autores, os percentuais de 70% material fresado e 30% pó de pedra, formam uma matriz granular consistente, que se enquadra nas normas quanto a formação do esqueleto mineral, ou fica entre os limites de uma curva granulométrica definida em norma.

Para Pasche (2016) e Silva (2018) além do enquadramento granulométrico e da estabilização química, é necessário se determinar o grau de compactação e a umidade ótima a serem adotados, os quais afetam diretamente no desempenho final da mistura. Pois, quanto maior o grau de compactação melhores são os resultados de resistência e rigidez.

Por fim, a umidade tem o papel de ajudar na lubrificação e no arranjo dos agregados, como

também na hidratação do material cimentante. Na maioria das vezes o grau de compactação ocorre através do protocolo de Proctor, que preconiza a aplicação de uma energia mecânica (pressão, impacto ou vibração) para solo ou outro material. Sendo o resultado desta aplicação de energia, o aumento da massa específica aparente e a redução de vazios do material, conseqüentemente gerando um aumento na resistência ao cisalhamento e redução da permeabilidade e compressibilidade. O protocolo de Proctor estabelece três energias a partir da queda de um peso padrão, sendo elas, a energia Normal, Intermediária e Modificada.

Isto posto, diversas pesquisas foram realizadas com o intuito de verificar a resistência alcançada com o emprego do RAP em substituição ao agregado britado (SILVA, 2018; PASCHE, 2016; ISOLA, 2013), avaliando parâmetros de quantidade de material fresado, percentuais de material cimentante e grau de compactação.

Em resumo, a Tabela 1 demonstra os pesquisadores que utilizaram o material fresado e o cimento Portland em seus trabalhos, e os resultados obtidos nos ensaios realizados. Tais resultados são promissores para a utilização do RAP como forma de substituição ao agregado natural, pois apresentam valores semelhantes ao material natural, quanto a sua resistência e rigidez.

Tabela 1 – Pesquisas realizadas com material fresado

Pesquisador	Ano	Material Cimentante (%)	Compactação	Ensaio (MPa)			
				RCS	RTCD	RTF	MR
Paiva e Oliveira	2010	3 (CPII-E)	Normal e Modificada	0,72 a 2,28	0,1 a 0,45	-	-
Trichês e Santos	2011	3 (CPII-E)	Modificada	0,97 a 4,84	0,21 a 0,71	0,24 a 0,82	-
Pasche	2016	3, 5 e 7 (CP-V)	Normal, Intermediária e Modificada	0,708 a 4,6	0,12 a 0,72	-	5.872 a 11.764
Silva	2018	4, 5 e 6 (CP-VI)	Normal, Intermediária e Modificada	1,84 a 5,36	0,2 a 0,8	0,11 a 0,78	4.800 a 11.100
Rolim	2020	4 e 5 (CP-IV) e 3 e 6 Cal	Normal Intermediária e Modificada	0,71 a 4,41	0,08 a 0,8	0,13 a 1,27	2.787 a 12.630

Sendo assim, o objetivo principal neste estudo é avaliar os parâmetros de resistência mecânica de misturas com material fresado estabilizado com pó de pedra e substituição parcial por cimento e cal. Para tanto, foram realizados ensaios laboratoriais de Resistência à Tração por Compressão Diametral

(RTCD), Resistência à Tração na Flexão (RTF), Módulo de Resiliência (MR) e Resistência à Compressão Simples (RCS).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Empregou-se nesta pesquisa a matriz granular de 70% RAP e 30% pó de pedra. O material pétreo utilizado é da região de Ijuí - RS, oriundos de um processo de britagem, e fornecidos por empresas de venda de materiais de construção, sendo os mesmos provenientes da pedreira localizada no Município de Coronel Barros – RS. A mistura de fresado e pó se enquadra na faixa C do DNIT141/2010-ES.

O material fresado asfáltico utilizado foi coletado na latitude de -29.61095° e longitude -52.807809°, a cerca de 8,4 km da cidade de Candelária-RS, na ERS 400. O RAP, é proveniente de um revestimento confeccionado originalmente a partir da Faixa C da especificação DNIT 031/2006-ES, em sua confecção foi utilizado o ligante asfáltico CAP 50/70. Para determinação do teor de betume e granulometria foram utilizadas as normas DNER-ME 053/94 e DNER-ME 083/1998, sendo o percentual de 5,09% o valor encontrado para o teor de betume, ainda foram realizados ensaios de caracterização do material fresado e natural utilizados nos CPs (granulometria, Rice Test, Abrasão Los Angeles, Equivalência de Areia, Massa Específica).

Para a estabilização química, foi utilizado o cimento Portland CP-IV que possui em sua composição de 15% a 50% de material pozzolânico. Os percentuais de cimento adotados foram de 4% e 5%, seguindo as pesquisas desenvolvidas por Pasche (2016) e Silva (2018), para verificação da variação de resistência e rigidez, devido a mudança em percentual do cimento em 1%. A cal utilizada foi do tipo dolomítica CH- II (hidratada), comercialmente chamada de “Primor Extra”. Seguindo recomendações de pesquisas de solos-cal e concretos-cal, utilizando-se os percentuais de 3% e 6% de cal, com variação de 3% desse material. Os tempos de cura adotados foram de 7 e 91 dias, o período inicial como referência para a liberação rápida do tráfego e verificação das resistências alcançadas em um curto período de tempo quando utilizado o cimento CP IV. Já para o período de 91 dias, ocorreu para avaliações de resistência e rigidez, devido as reações químicas de hidratação e formação cristalinas entre o cimento CP IV e a cal. A Tabela 2 traz a nomenclatura dos copos de prova (CPs). Sendo o primeiro algarismo o percentual de cimento e o segundo o teor de cal.

Tabela 2 – Corpos de prova por mistura

Mistura	Ensaio	Cimento (%)	Cal (%)	Nomenclatura	Cura (dias)
70% fresado e 30% pó de pedra	RCS, RTF e RTCD-MR	4	3	FP4-3(1,8)	7 e 91
				FP4-3(1,9)	7 e 91
				FP4-3(2,0)	7 e 91
			6	FP4-6(1,8)	7 e 91
				FP4-6(1,9)	7 e 91
				FP4-6(2,0)	7 e 91
		5	3	FP5-3(1,8)	7 e 91
				FP5-3(1,9)	7 e 91
				FP5-3(2,0)	7 e 91
			6	FP5-6(1,8)	7 e 91
				FP5-6(1,9)	7 e 91
				FP5-6(2,0)	7 e 91

A determinação do grau de compactação (massa específica aparente seca) ocorreu através das três energias do protocolo de Proctor, sendo adotado 1,8g/cm<sup>3</sup> para a energia normal, 1,9g/cm<sup>3</sup> para energia intermediária e de 2,0g/cm<sup>3</sup> para a energia modificada. Ainda devido ao papel fundamental exercido pela umidade, já que a presença da mesma em excesso provoca a separação das partículas da mistura, e sua falta não permite a

lubrificação suficiente para a formação mais densa, optou-se pela média das umidades ótimas obtidas nos ensaios de compactação, sendo estas de 5,2%, 4,9% e 4,8%, o valor adotado foi a médias dessas, sendo ele de 5%.

Para a preparação das amostras era verificado a umidade hidrocópica do material a ser empregado (fresado e pétreos) estocados ao ar em baias. De posse da umidade do material calculava-se a

quantidade de água necessária para se atingir o percentual definido para a umidade ótima, de acordo com o ensaio de compactação. Para a moldagem dos corpos de prova (CPs), foi obedecido as orientações da NBR 5738/15.

A determinação da quantidade de material empregado por camada foi calculada segundo a massa específica aparente seca para cada energia e do volume do molde. Para obtenção da melhor união entre as camadas, era realizado uma escarificação entre as mesmas, a fim de promover melhor aderência. Para evitar a segregação, os CPs foram mantidos dentro dos moldes, em câmara úmida, durante um período de 48 horas (iniciais). Ainda para efeitos de controle da qualidade dos CPs, foram observadas as orientações de Silva (2018), quanto a Massa específica aparente seca ( $\gamma_d$ ) mínima e máxima. Sendo esta, o valor do grau de compactação entre 98,5% a 101,5%, definido como o valor de  $\gamma_d$  efetivamente obtido na moldagem dividido pelo valor de  $\gamma_d$  definido como meta.

Para o teor de umidade foi estabelecido a variação de  $\pm 0,5$  percentual, nesta etapa eram coletadas amostras do material utilizado na confecção dos CPs, as quais eram secas em estufa e verificado o peso inicial e final para se obter o valor em percentual de água.

Durante o programa experimental de ensaios e montagem, foi observado o que prescreve a NBR 5738/15, para concretos, assim foram moldados corpos de prova de 100 x 100 x 400 mm, para Resistência à Tração na Flexão (RTF), de 100 x 61 mm para Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD) e Módulo de Resiliência (MR). Para a Resistência à Compressão Simples (RCS), foram confeccionados CPs de 100 x 200 mm.

A cura para o período de 7 e 91 dias ocorreu em câmara úmida, um dia antes da realização do ensaio, os CPs eram submetidos a saturação em tanque com água por um período de 24 horas, visando aproximar a condição de saturação.

Para o ensaio de RTCD foi utilizado uma prensa com taxa de deformação vertical controlada de 0,8mm/s, a qual permite a verificação da medida do deslocamento vertical e da carga em função do tempo. A obtenção dos valores de RTCD, dos CPs ensaiados foram gerados através de equação obtida na norma DNIT-ME 136/2010.

O ensaio de Módulo de Resiliência ocorreu em uma prensa hidráulica, modelo Universal Test Machine – UTM 25 da IPC Global, a qual possui um acoplamento de um regulador de tempo e

frequência a um pistão central. O ensaio foi realizado segundo a normativa DNIT-ME 134/2010.

As medidas de deslocamento foram realizadas por LVDTs (*Linear Variable Differential Transformers*), os quais determinam o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal (nas duas faces do corpo de prova), por meio de aplicação de carga que gera tensão de tração transversal ao plano de aplicação da mesma. Neste ensaio foi aplicada carga a uma frequência de 60 ciclos por minuto, com tempo de aplicação de carga de 0,10 segundo, desta forma tendo 0,90 segundos de repouso ou descarregamento.

O ensaio de RTF ocorreu segundo a NBR 12142/2010, com o rompimento de vigotas de dimensões de 100x100x400mm, através de uma presa hidráulica do tipo Amsler (mesma utilizada no ensaio de RCS).

### 3 RESULTADOS E AVALIAÇÕES

Nesta pesquisa se teve como referência a confecção de uma BGTC, que possui os percentuais de 3 e 6% de cimento Portland, sendo recomendado o uso dos cimentos tipo CP-II ou CPV-ARI, devido ao ganho de resistência inicial. Contudo, devido as reações entre o cimento e a cal e do custo, se optou pelo uso do cimento Portland CP-IV. Na análise dos resultados, tornou-se perceptível que mesmo em um curto período de cura, o material cimentante provoca ganho de resistência, que se deve tanto pela presença do cimento como pela ação da cal.

Como referência foram confeccionados corpos de prova com mesmas características (granulométricas, massa específica aparente seca, percentual de material cimentante e tempos de cura) aos elaborados com material fresado, mas com material britado natural, para assim se ter parâmetros de resistência do material fresado com o material empregue tradicionalmente em obras de base ou sub-base de pavimentos rodoviários. Nos valores encontrados nos traços com material britado convencional, foi observado melhor desempenho, contudo semelhantes aos valores dos CPs confeccionados com material fresado e pó. Os valores encontrados para o traço de referência não foram apresentados pois a análise de tais não é foco dessa pesquisa mas sim os valores de resistência do material fresado para seu uso em pavimentação.

A Tabela 3 demonstra os resultados alcançados nos ensaios de resistências para o período de 7 e 91 dias de cura, conforme descrito no capítulo anterior. Os pontos apresentados nas análises dos resultados

correspondem a média de três corpos de prova moldados com as mesmas características.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios com material fresado e pó de pedra

Cimento	Cal	Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> )	MPa								
			RCS7	RCS91	RTF7	RTF91	MR7	MR91	RTCD7	RTCD91	
4,0	3,0	1,8	0,69	1,29	0,12	0,36	2.937,60	5.400,00	0,07	0,18	
			0,69	1,26	0,12	0,32	2.616,00	4.968,58	0,08	0,19	
			0,74	1,23	0,15	0,34	2.808,00	4.152,00	0,09	0,19	
		1,9	1,01	2,10	0,16	0,54	4.488,00	7.130,30	0,12	0,30	
			0,95	2,08	0,17	0,54	4.173,12	8.322,91	0,13	0,32	
			1,03	2,05	0,19	0,57	4.200,00	6.478,94	0,13	0,30	
	2,0	1,35	3,39	0,19	0,81	6.648,00	9.528,00	0,18	0,55		
		1,51	3,35	0,19	0,79	6.494,40	9.464,45	0,20	0,50		
		1,56	3,29	0,18	0,82	6.072,00	8.894,40	0,19	0,52		
		1,8	0,84	1,47	0,13	0,47	2.746,85	5.594,02	0,08	0,20	
			0,82	1,45	0,14	0,45	3.087,94	5.068,80	0,09	0,19	
			0,86	1,40	0,16	0,43	3.884,54	5.582,40	0,10	0,20	
4,0	6,0	1,9	1,23	2,36	0,18	0,70	6.873,60	7.848,00	0,14	0,40	
			1,22	2,35	0,16	0,70	5.030,40	7.654,46	0,15	0,40	
			1,21	2,32	0,16	0,67	3.754,66	7.475,42	0,15	0,42	
	2,0	1,84	3,45	0,18	0,98	8.088,00	9.657,60	0,21	0,61		
		1,77	3,42	0,19	0,99	8.073,60	10.920,00	0,24	0,59		
		1,59	3,55	0,21	0,96	7.608,00	10.728,00	0,21	0,56		
5,0	3,0	1,8	1,17	1,78	0,16	0,56	3.004,41	6.478,37	0,12	0,32	
			1,18	1,80	0,14	0,58	4.714,03	5.902,00	0,11	0,32	
			1,37	1,89	0,14	0,53	5.097,04	7.244,95	0,12	0,28	
		1,9	1,78	2,65	0,16	0,86	7.682,23	10.194,39	0,18	0,48	
			1,81	2,64	0,19	0,85	4.125,49	9.251,42	0,17	0,49	
			1,55	2,90	0,19	0,86	6.676,31	9.282,00	0,17	0,48	
	2,0	2,55	3,86	0,21	1,13	8.848,50	12.490,40	0,27	0,78		
		2,43	3,93	0,22	1,13	8.848,50	12.090,00	0,27	0,83		
		2,48	3,96	0,24	1,10	8.926,02	11.622,00	0,27	0,80		
	5,0	6,0	1,8	1,48	2,10	0,16	0,60	4.786,61	6.510,40	0,12	0,33
				1,47	2,11	0,17	0,68	4.393,96	6.820,63	0,11	0,34
				1,51	2,11	0,17	0,82	5.015,95	7.326,80	0,12	0,35
1,9		2,07	3,00	0,21	0,90	6.663,15	10.486,11	0,19	0,55		
		2,25	3,01	0,19	0,93	6.596,85	10.415,60	0,19	0,56		
		2,18	3,42	0,19	0,94	6.930,90	9.698,00	0,17	0,57		
2,0	2,97	4,16	0,25	1,29	9.751,20	12.662,00	0,28	0,78			
	3,06	4,58	0,24	1,25	9.511,50	12.755,60	0,29	0,80			
	2,90	4,50	0,26	1,28	10.123,50	12.472,20	0,30	0,83			



O ganho de RCS aos 7 dias pode ser observado tanto pela participação da cal como pela existência do cimento CP-IV. Quando mantido o percentual de cimento e variando o percentual da cal, de 3% para 6% (FP4-3 entre FP4-6), o ganho de resistência foi de cerca de 16%, assim a cal possibilitou o acréscimo de resistência na mistura. Nos demais traços, pode ser visualizado a mesma tendência de ganho na ordem de 18% (FP5-3 para FP5-6).

Para a verificação do acréscimo de resistência devido à presença do cimento, basta a comparação dentro do mesmo percentual da cal, variando-se apenas o percentual do cimento Portland, sendo esse ganho de aproximadamente de 42% entre o traço de FP4-3 e FP5-3 e de 43% para FP4-6 e FP5-6. Ao comparar o menor percentual de cimento e o maior valor da cal (FP4-6), com o maior percentual de cimento com menor valor da cal (FP5-3), o ganho de resistência devido a presença da cal, torna-se perceptível novamente, pois o valor de resistência diminui para 30% devido ao aumento de percentual da cal em 3%. Assim, evidenciando que tanto com a adição de cimento quanto o incremento da cal, provocam ganho de resistência mecânica nas misturas.

Para o período mais longo de 91 dias, todas as resistências aumentaram consideravelmente em comparação aos 7 dias. No entanto, os ganhos foram menores, entre as misturas analisadas para o mesmo período de cura. Assim, acredita-se que a cal tem maior participação no estágio inicial de hidratação para os primeiros períodos. Para o teor de cimento de 4%, e variação da cal de 3% para 6%, o ganho foi de cerca de 9% (FP4-3 e FP4-6) e para o valor de 5% de cimento teve-se acréscimo de cerca de 13% (FP5-3 e FP5-6).

Ainda para a comparação entre diferentes teores de cimento (FP4-3 e FP5-3), observou-se os percentuais de variação de resistência de 23%, e de 26% para (FP4-6 e FP5-6), tal ganho foi observado por Silva (2018) na variação entre os percentuais de 4%, 5% e 6% de cimento Portland CP-V ARI, quando se variava o percentual de cimento (variação de 1% de cimento Portland CP V – ARI) o acréscimo de resistência ficou entorno de 26%.

Para os demais ensaios foi encontrado variações de ganho de resistência tanto pela mudança de percentual de cal, como pela variação do cimento, no ensaio de RTF, os traços de (FP4-3 e FP4-6) e (FP5-3 e FP5-6), apresentaram ganho de cerca de 6%, e de 10% aos 7 dias iniciais de cura (variação do percentual de cal dentro do mesmo valor de cimento

Portland). Já avaliando o percentual de cimento Portland, dentro do mesmo percentual de cal os ganhos foram de 13% entre o traço FP4-3 e FP5-3 e de 17% entre FP4-6 e FP5-6 no estágio inicial de cura.

Contudo, como era esperado, devido as características do cimento CP-IV, o ganho de resistência foi de 70% comparando o traço FP4-3 e do período de cura de inicial (7 dias) com o período de cura final (91 dias). Para o traço de FP4-6 o acréscimo foi próximo aos 75%. Para os demais teores de FP5-3 e FP5-3 os ganhos aos 91 dias de cura foram de 77% e 78%.

O ensaio de RTCD apresentou melhores valores para o período de cura mais longo, o que já era esperado devido ao material cimentante utilizado. Pode-se observar o ganho de resistência quando comparados os valores entre o período de cura inicial com o período final, ocorrendo acréscimo de resistência de 61% para FP4-3. Já para FP4-6, FP5-3 e FP5-6 os valores formam de 62%, 65% e 65%, respectivamente, levando em consideração os valores encontrados no estágio inicial de cura.

O Módulo de resiliência apresentou acréscimos de cerca de 33% para comparação dos 7 e 91 dias de cura. Ainda pode-se destacar o ganho de resistência devido ao grau de compactação adotado. Tal fato foi observado por Pasche (2016) e Silva (2018) em seus experimentos com material fresado, para diferentes teores de cimento e de compactação. Assim pode-se fazer uma comparação, para o traço RF4-3 (2,0g/cm<sup>3</sup>), se comparado ao traço RF5-6 (1,8g/cm<sup>3</sup>), independente do tempo de cura (7 e 91 dias). Para o menor teor de material cimentante, os resultados dos ensaios realizados foram melhores (maiores resistências), demonstrando que o material cimentante não é o único fator de garantia do acréscimo de resistência, pois para obter valores de resistência consideráveis, deve-se levar em consideração o grau de compactação adotado.

Desta forma, o arranjo granulométrico e a umidade para a compactação são pontos importantes para a melhoria dos resultados em uma obra de pavimentação que utilize materiais cimentantes e granulares.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A substituição do agregado natural pelo material fresado em obras de pavimentação, pode ser um fator importante para execução de novas obras, diminuindo valores referentes ao transporte de

material e da extração de agregados virgens da natureza. A avaliação dos valores encontrados torna aceitável seu uso, pois os mesmos, se aproximaram a de outros pesquisadores conforme consta na Tabela 1 e se assemelham aos resultados obtidos com o material de referência ou material britado natural. Ainda, estão dentro das recomendações do DNIT 167/13, pois possuem valores entre 0,25 – 0,35 MPa para RTCD e de 2,1 – 2,5 MPa para RCS, assim sendo, possível sua execução. Contudo, é necessário o controle tecnológico no traço adotado, desta forma tendo certeza que a nova base do pavimento suportará as solicitações do tráfego.

Para o período mais longo de cura, o RAP apresentou um melhor desempenho, semelhante ao encontrado por outros pesquisadores, alcançando valores satisfatórios em relação a normativa vigente e que propiciam o uso desse material como agregado para construção de base de pavimentos viários.

Já para o período de cura inicial de 7 dias, seu uso deve ser de acordo com as características e as solicitações do tráfego, assim deve-se adotar um grau de compactação adequado e de acordo com tais solicitações. Além disso, as adições de material cimentante devem ser condizentes e a resistência desejada em relação ao prazo para liberação do tráfego, deve ser considerada.

Ressalta-se que o aumento do grau de compactação provoca um crescimento significativo em relação a RCS, RTF e RTCD, maior que o incremento de material cimentante, desta forma a compactação é fundamental para se atingir a resistência mínima desejada em norma.

Outro fator de suma importância é a união entre os agregados da mistura, que ocorre devido à granulometria correta (formação do esqueleto pétreo), juntamente com a adição de materiais cimentícios, provocando grande melhoria na ligação entre as partículas constituintes desta mistura. A massa específica aparente seca obtida através da compactação, melhora ainda mais essa união, evidenciando que a mesma é também um fator importantíssimo para o ganho de resistência.

Por fim, é perceptível a necessidade do controle da umidade adotada, já que esta atua na melhoria do entrosamento do agregado, funcionando como lubrificante na compactação e, ao mesmo tempo, possibilitando a hidratação do agente cimentante existente na mistura.

Sendo assim, pode-se ponderar que a utilização do material fresado em substituição ao agregado natural é aceitável e exequível, desde que seja corretamente enquadrado na curva padrão, devidamente dosado e corretamente compactado. Desta forma, a nova

camada de base do pavimento asfáltico possuirá resistência e características adequadas para o suporte ao tráfego, semelhantes, ou até melhores que uma camada de base convencional.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). *NBR 12142: Concreto - Determinação da Resistência a Tração em Corpos de Prova Prismáticos*. 5 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). *NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*. 8 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). *DNER-ME 053/94: Misturas betuminosas – percentagem de betume*. 5 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1998). *DNER-ME 083/98: Agregados – análise granulométrica*. 5 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2006). *DNIT-ES 031/06: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço*. 14 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2010). *DNIT-ES 141/10: Pavimentação asfáltica – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço*. 9 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2010). *DNIT-ME 136/10: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. 6p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2013). *DNIT-ME 167/13-ME: Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland – Especificações de Serviço*. 11p.
- Isola, M. (2013). *Evaluation of cement treated mixtures with high percentage of reclaimed asphalt pavement*. Construction and Building Materials, v. 48, p. 238-247.
- Moreira, J. P. V.; Gomes Correia, A.; Pereira, P. (2006). *Contribuição para a reutilização de material fresado em camadas estruturais de pavimento*. In: 10º Congresso Nacional de Geotecnia - Geotecnia multidisciplinar: estudos, Lisboa, v. 2, p. 439-448.
- Moura, E. (2010). *Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório*. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, Curso de Pós-Graduação e Em Engenharia Civil. 299p.
- Paiva, C. E. L.; Oliveira, P. C. A. (2010). *A importância do controle de compactação no desempenho da camada reciclada com cimento Portland*. In: CONINFRA 2010 – 4º Congresso de Infraestrutura de Transportes – Anais. São Paulo. 16 p.
- Paiva, C. E. L.; Oliveira, P. C. A. (2014). *Impacto da atividade do CAP e do percentual de asfalto fresado na resistência à fadiga de uma base reciclada com cimento*. In: 21ª Encontro do Asfalto. Rio de Janeiro. 15p.

- Pasche, E. (2016). *Estudo da rigidez e resistência de uma mistura de material fresado asfáltico e pó-de-pedra com a adição de cimento*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 170p.
- Rolim, A. C. (2020). *Avaliação de parâmetros de resistência mecânica de material fresado estabilizado com cimento Portland, cal e rocha basáltica pulverizada para emprego em pavimentação*. Universidade Federal De Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 165p.
- Silva, M. R (2018). *Determinação de parâmetros que influenciam nas propriedades mecânicas de material fresado estabilizado granulometricamente e quimicamente para emprego em pavimentação*. Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 139p.
- Trichês, G.; Santos, A. (2011) *Avaliação do desempenho da reciclagem do pavimento da rodovia SC-303*. In: 7º Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões – Anais. Foz do Iguaçu. 15 p.
- Trichês, G.; Santos, A. (2013). *Desempenho da reciclagem com adição de cimento da rodovia SC-150*. In: 42ª Reunião Anual de Pavimentação – Anais. Gramado. 13 p.