

EMPREGO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

David Christian Regis Pereira Grubba

Alexandre Benetti Parreira

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Transportes

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de ensaios laboratoriais do agregado reciclado de concreto (ARC) proveniente de São Carlos – SP, visando seu emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos. A título de comparação, esses resultados são confrontados com os obtidos para um agregado natural oriundo do mesmo município. Foram realizados ensaios de densidade aparente e absorção por água, abrasão Los Angeles, lixiviação, solubilização, compactação, CBR e triaxial cíclico. No tocante às características físicas, verificou-se que o agregado reciclado de concreto, em relação ao agregado natural, apresentou menor densidade aparente, maior absorção e maior desgaste à abrasão Los Angeles. No que se refere ao comportamento do material, o agregado reciclado apresentou valores semelhantes de CBR e de módulo de resiliência aos obtidos pelo agregado natural. Os resultados indicam que o agregado reciclado de concreto pode ser empregado na construção de camadas de sub-base e base de pavimentos.

ABSTRACT

This paper presents the laboratorial tests results of recycled concrete aggregate (RCA) from São Carlos – SP, dived to investigate its utilization as base and sub base layers in pavements. The results are compared with those ones obtained for natural aggregate, from the same city. LA abrasion, specific gravity and water absorption, leaching, dissolution, moisture-density relationships, CBR and cyclic loading triaxial tests were performed. It was observed physical properties and it was founded that the RCA had higher LA abrasion, lower specific gravity and the water absorption increased, when compared with the natural aggregate results. In addition, when observed the material behavior, the RCA showed similar CBR and resilient modulus when compared with the natural aggregate ones. The research achievement indicates that the RCA can be employed at the base and sub base layers in pavements.

1. INTRODUÇÃO

O setor de construção civil é de grande importância estratégica para qualquer país, principalmente para os em desenvolvimento. Entretanto, observa-se que esse setor provoca significativos impactos ambientais, sendo um grande gerador de resíduos. De acordo com Rao et al. (2007), os resíduos de construção e demolição (RCD) constituem a maior porção, em massa, dos resíduos sólidos gerados no mundo. Estima-se que sejam geradas a cada ano cerca de 180 milhões de toneladas desses resíduos na União Européia (EC, 2000), 136 milhões nos EUA (EPA, 1998) e 68,5 milhões no Brasil (Angulo, 2005). A deposição dessa imensa quantidade de material sobre o meio ambiente urbano tem causado diversos transtornos à sociedade.

Uma forma de mitigar os problemas causados pelo acúmulo desses resíduos sobre o meio ambiente é a sua reciclagem. Os RCD podem ser reciclados na forma de agregados através de um beneficiamento, constituído basicamente de operações de triagem, britagem e peneiramento. Os agregados reciclados podem ser classificados, de acordo com sua constituição predominante, em dois grupos: agregados reciclados de concreto e agregados reciclados mistos.

Os agregados reciclados de concreto (ARC), considerados mais nobres e homogêneos do que os mistos, apresentam em sua constituição mais de 90% de resíduos de concreto, argamassa e

materiais pétreos. Esses agregados podem ser empregados em diversas aplicações, como por exemplo, na confecção de argamassas, elementos pré-moldados de concreto e calçadas. Na pavimentação, os ARC podem ser utilizados tanto na massa asfáltica dos pavimentos flexíveis, quanto no concreto dos pavimentos rígidos, contudo sua destinação mais usual é para construção de camadas de sub-base e base. Nos Estados Unidos, de acordo com FHWA (2004), dos 50 estados norte-americanos, 38 já empregam esse tipo de agregado para construção de camadas de base e sub-base de pavimentos.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar as características físicas e o comportamento mecânico do agregado reciclado de concreto proveniente de São Carlos-SP, visando seu emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos. A título de comparação, esses resultados são confrontados com os obtidos para um agregado natural, oriundo do mesmo município.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O agregado reciclado de concreto foi fornecido pela Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil de São Carlos – SP, enquanto que o agregado natural foi disponibilizado pela Pedreira Bandeirantes, localizada no mesmo município. Observa-se que o agregado reciclado de concreto foi fornecido em três granulometrias distintas, denominadas por “brita 1”, “pedrisco” e “areia”, enquanto o agregado natural foi disponibilizado em duas, “brita-corrida” e “pedrisco”. A coleta dos agregados foi realizada de acordo com a norma DNER PRO 120/97. Após a coleta, o material foi transportado em sacos de aproximadamente 40 kg ao Laboratório de Estradas da EESC/USP, onde foram realizados todos os ensaios, com exceção dos ensaios de lixiviação e de solubilização que foram feitos no Laboratório de Saneamento da mesma instituição.

3.1. Análise Granulométrica

A análise granulométrica dos agregados foi realizada segundo o descrito na norma NBR 7181/84. A Figura 1 apresenta as distribuições granulométricas das frações de agregado reciclado e de agregado natural.

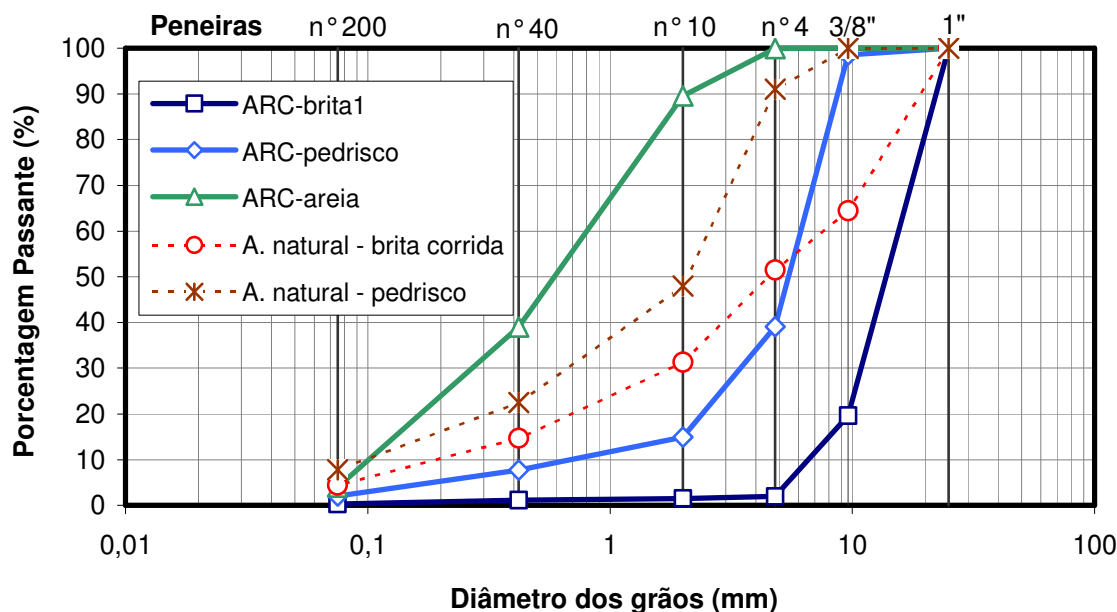


Figura 1: Distribuições granulométricas dos agregados

Analisando-se a Figura 1, observa-se que existe uma carência de partículas passantes na peneira 200 nas frações do agregado reciclado de concreto, o que não ocorre no caso do agregado natural.

3.2. Características Físicas e Ambientais

As características físicas dos materiais empregados em pavimentação estão intrinsecamente relacionadas à estabilidade que estes apresentarão quando sujeitos à ação imposta pelo tráfego de veículos e pelos agentes climáticos. Assim, nesta pesquisa, a caracterização dos agregados foi realizada com base nos ensaios de abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/98) e absorção e densidade aparente de agregado graúdo (DNER-ME 81/98).

Para classificação ambiental, foram realizados os ensaios de lixiviação e solubilização, de acordo com as normas NBR 10005/04 e NBR 10006/04, respectivamente.

3.3. Escolha da Proporção das Misturas

A norma NBR 15115/04, intitulada “Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Execução de Camadas de Pavimentação – Procedimentos”, não especifica faixas granulométricas para o emprego deste material. Contudo, estabelece que os seguintes aspectos precisam ser observados: a porcentagem de material passante na peneira 0,42mm deve se situar entre 10% e 40%; a dimensão característica máxima dos grãos deve ser inferior a 63,5 mm; e coeficiente de uniformidade (C_u) deve ser maior ou igual a 10. A título de orientação, as três frações granulométricas de agregado reciclado de concreto foram proporcionadas de maneira que a mistura se enquadrasse o mais próximo possível da faixa C da norma DNER ES 303/97. Assim, a composição da mistura de ARC, em massa, foi de 40% de areia, 30% de pedrisco e 30% de brita 1.

A mistura das frações de agregado natural foi dosada de maneira que se enquadrasse dentro da mesma faixa granulométrica, resultando em uma composição, em massa, de 75% de brita-corrida e 25% de pedrisco.

As distribuições granulométricas das misturas e os limites especificados pela faixa C são mostrados na Figura 2.

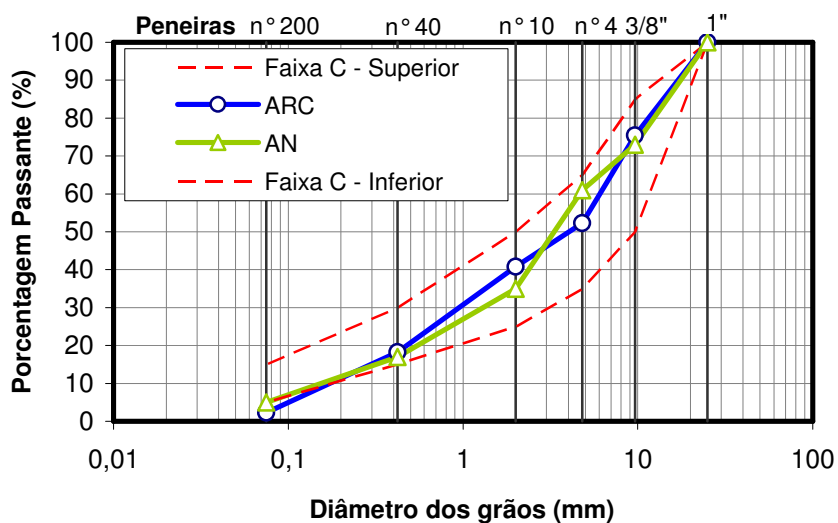


Figura 2: Distribuições granulométricas dos agregados proporcionados

A Tabela 1 apresenta os parâmetros determinados a partir da distribuição granulométrica do agregado reciclado de concreto.

Tabela 1: Parâmetros de distribuição granulométrica do ARC

Parâmetro	ARC
Dimensão máxima característica (mm)	25
Porcentagem passante na peneira 0,42 mm (%)	18
Coefficiente de uniformidade	33

Analisando-se a Figura 2, observa-se que a curva granulométrica de projeto do agregado natural se enquadra na faixa C especificada pela norma DNER ES 303/97. Já a curva granulométrica do ARC, embora tenha se localizado próxima à região central desta faixa, apresenta uma carência de partículas finas, passantes na peneira de número 200, apenas 2%, enquanto a norma supracitada especifica um mínimo passante de 5%. Entretanto, comparando-se os resultados do agregado reciclado de concreto apresentados na Tabela 1 com os exigidos pela norma NBR 15115/04, observa-se que o ARC atende a todos os requisitos de granulometria.

3.4. Ensaio de Compactação

Após definidas as proporções das misturas, foram conduzidos os ensaios de compactação para a determinação dos respectivos valores de massa específica seca máxima (ρ_{dmax}) e umidade ótima (ω_o). Esses ensaios foram realizados de acordo com o descrito na norma NBR 7182/84. A energia de compactação escolhida foi a modificada, do ensaio de Proctor.

3.5. Ensaio de CBR

O Índice de Suporte Califórnia (CBR) é um dos parâmetros exigidos pela norma NBR 15115/04 para o emprego de agregados reciclados de resíduos de construção civil em pavimentação. Assim, o ensaio de CBR foi realizado conforme o especificado pela norma DNER-ME 049/94.

3.6. Ensaio Triaxial Cíclico

O ensaio triaxial cíclico foi realizado segundo o descrito na norma “*Standart Method of Test for Determining the Resiliente Modulus of Soils and Aggregate Materials*” (AASHTO Designation: T 307-99), visando à determinação do módulo de resiliência (MR). Na modelagem da variação do módulo de resiliência com o estado de tensão, foram utilizadas expressões que levam em conta o efeito da tensão confinante (Eq. 1), da tensão desvio (Eq. 2), das tensões confinante e desvio simultaneamente, “modelo composto” (Eq. 3) e das tensões volumétricas e cisalhantes octaédricas, “modelo universal da AASTHO” (Eq. 4).

$$MR = K_1 \sigma_c^{K_2} \quad (1)$$

$$MR = K_1 \sigma_d^{K_2} \quad (2)$$

$$MR = K_1 \cdot \sigma_c^{k_2} \sigma_d^{k_3} \quad (3)$$

$$MR = K_1 p_a \left(\frac{\theta}{p_a} \right)^{K_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{p_a} + 1 \right)^{K_3} \quad (4)$$

em que

- MR: módulo de resiliência (MPa);
- σ_d : tensão desvio (kPa);
- σ_c : tensão confinante (kPa);
- θ : primeiro invariante de tensão = tensão volumétrica (kPa);
- τ_{oct} : tensão cisalhante octaédrica (kPa);
- P_a : Pressão atmosférica (kPa);
- K_1, K_2, K_3 : parâmetros de regressão.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Características Físicas e Ambientais

A Tabela 2 apresenta um resumo das características físicas dos agregados. Analisando-se essa tabela, verifica-se que o valor de absorção de água encontrado para o agregado reciclado de concreto, 4,6%, está em conformidade com a faixa de valores típicos relatados por Saeed, Hammons e Reed (2007). De acordo com estes pesquisadores, a absorção de agregados reciclados graúdos de concreto varia entre 2% e 6%. Observa-se ainda que a absorção por água do ARC é cerca de duas vezes maior do que a determinada para o agregado natural.

Tabela 2: Características físicas dos agregados

Características		Tipos de agregados	
		ARC	Ag. Natural
Abrasão Los Angeles (%)	Graduação B	35	19
	Graduação C	33	22
Absorção do agregado graúdo (%)		4,6	2,2
Densidade aparente do agregado graúdo		2,403	2,783

No tocante à densidade aparente dos agregados graúdos, grãos retidos na peneira de 4,8mm, verifica-se que a densidade do agregado reciclado de concreto, 2,403, é 14% inferior à determinada para o agregado natural, 2,783.

No que se refere à resistência à abrasão Los Angeles, observa-se que os agregados reciclados de concreto apresentaram desgastes superiores aos naturais. Considerando as duas graduações ensaiadas, verifica-se que a resistência à abrasão média do ARC foi de 34%, enquanto a do agregado natural foi de 21%. A norma NBR 15115/04 não menciona o a resistência à abrasão Los Angeles como requisito para a utilização de agregados reciclados da construção civil em pavimentação. Porém, a norma DNER-ES 303/97 especifica que o desgaste de materiais empregados na estabilização granulométrica de bases deva ser inferior a 55%. Assim, ressalta-se que tanto o agregado reciclado de concreto quanto o agregado natural apresentam valores inferiores ao máximo especificado por esta última norma.

Em relação aos ensaios ambientais, observa-se que os resultados obtidos no ensaio de lixiviação para o ARC satisfizeram os limites preconizados pela norma NBR 10004/04 – Anexo F. Contudo, analisando-se o ensaio de solubilização, verificou-se que o ARC apresenta concentrações de alumínio e fenóis totais acima dos limites recomendados no anexo G da norma supracitada, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados acima dos limites normativos do ensaio de solubilização para ARC

Parâmetro	Unidade	Limite de detecção (LD)	Limite máximo no extrato	ARC
Alumínio	mg Al/ L	0,01	0,20	3,62
Fenóis totais	mg C ₆ H ₅ OH /L	0,001	0,010	0,024

Com base na Tabela 3, o agregado reciclado de concreto pode ser classificado, de acordo com a norma NBR 10004/04 como sendo da Classe II–A, isto é, resíduo não perigoso e não inerte. Esse resultado contrasta com o esperado, pois os resíduos de construção e demolição são considerados, geralmente, como inertes. Entretanto, Fernandes (2004) relata que o agregado reciclado de RCD misto proveniente da Usina de Catumbi, Rio de Janeiro-RJ, apresentou também concentrações de alumínio e fenóis superiores às permitidas, sendo igualmente classificado como pertencente à Classe II–A. Ainda de acordo com este pesquisador, *“tais resultados não inviabilizam o uso de agregados reciclados de RCD. No entanto, estes resultados indicam uma atenção especial ao seu emprego, por exemplo, cuidados a serem tomados com a drenagem de águas superficiais e subterrâneas”* (pág. 92).

Ainda neste âmbito, observa-se que diversos materiais empregados na construção de camadas de pavimentos podem ser considerados como não inertes, tais como: cimento, cal, emulsão asfáltica, etc. Salienta-se que até mesmo alguns solos tropicais são classificados, com base nos limites propostos na norma NBR 10004/04, como não inertes. Um exemplo disso pode ser visto no trabalho de Klinsky (2008), no qual o solo designado por “Solo Jardim Maracanã” apresentou concentração de fenóis quatro vezes superior à máxima prevista nesta norma, sendo considerado também como pertencente à Classe II-A.

4.2. Compactação

Dos ensaios de compactação, observa-se que o agregado reciclado de concreto apresentou massa específica aparente seca máxima de 1,928 g/cm³ e umidade ótima de 11,0%, enquanto o agregado natural, apresentou ρ_{dmax} de 2,330 g/cm³ e ω_o de 7,1%. A maior umidade ótima e menor massa específica do ARC, frente ao agregado natural, já eram esperadas em função de sua maior absorção e menor densidade, conforme relatado anteriormente.

4.3. Índice de Suporte Califórnia (CBR)

A Figura 3 apresenta a variação do CBR em função da umidade de compactação para o agregado reciclado de concreto e para o agregado natural. Esses resultados foram obtidos utilizando-se os mesmos corpos-de-prova empregados no ensaio de compactação. Analisando-se essa figura, nota-se que tanto o agregado reciclado de concreto quanto o natural apresentam valores elevados de CBR, acima de 80%, para todos os teores de umidade testados. Os valores mínimos de CBR para o ARC e para o agregado natural são de 117% e 88%, respectivamente, enquanto os valores máximos para o ARC e para o agregado natural são de 176% e 185%, respectivamente. Observa-se também que o CBR do ARC na umidade ótima é de 172%, enquanto o do agregado natural é de 142%.

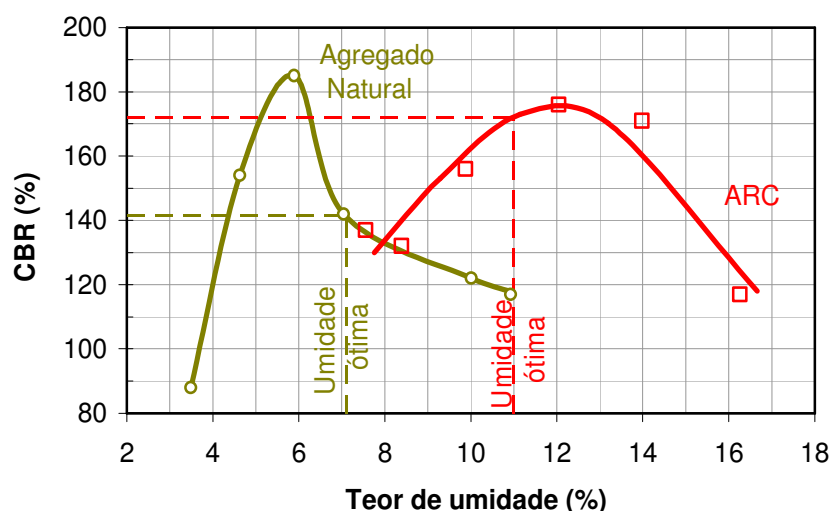


Figura 3: Variação do CBR dos agregados em função do teor de umidade

Destaca-se que o valor de CBR na umidade ótima obtido nesta pesquisa para o ARC está de acordo com os valores encontrados nas referências bibliográficas. O relatório “*The Development of a Performance Specification for Granular Base and Subbase Material*”, publicado pela a FHWA em 2005, relata que o ARC, moldado na energia modificada, apresentou um CBR de 205%. Segundo FHWA (1997), o CBR típico do ARC varia de 94% a 148%. Já de acordo com Saeed, Hammons e Reed (2007), este varia de 94% a 184%.

No tocante à expansibilidade, medida durante os quatro dias de imersão em água, observa-se que tanto o agregado reciclado de concreto quanto o agregado natural apresentaram expansão nula.

Por fim, constata-se que os resultados de CBR e de expansão alcançados pelo agregado reciclado de concreto atendem as exigências da norma NBR 15.115, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados de CBR na ω_o do ARC e limites especificados pela NBR 15115

Camada	Energia	CBR (%)	Expansão (%)
Sub-base	Intermediária*	≥ 20	$\leq 1,0$
Base	Intermediária*	≥ 60	$\leq 0,5$
ARC	Modificada	172	0,0

* Energia mínima que pode ser empregada.

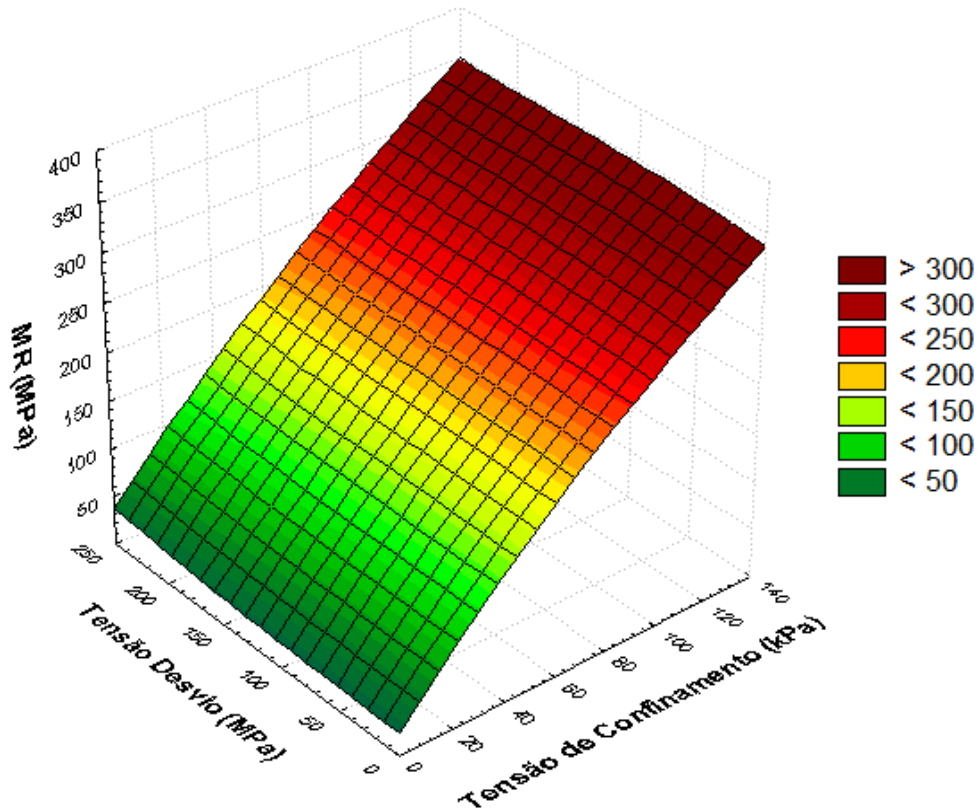
4.4. Triaxial Cíclico

A Tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros de regressão e os coeficientes de determinação (R^2) dos quatro modelos empregados para o agregado reciclado de concreto e para o agregado natural. Analisando-se os coeficientes de determinação apresentados nessa tabela, observa-se, conforme o esperado, que os módulos de resiliência dos agregados pesquisados apresentam boa correlação com o modelo que considera somente a tensão de confinamento (Eq. 1) e baixa correlação com o que depende somente da tensão desvio (Eq. 2). O modelo composto (Eq. 3) e o do ASSHTO (Eq. 4) também apresentaram altos valores de R^2 .

Tabela 5: Constantes de calibração e coeficientes de determinação

Modelo	Equação	Material	K ₁	K ₂	K ₃	R ²
$M_R = K_1 \cdot \sigma_c^{k_2}$	1	ARC	8,6	0,75	-	0,99
		Ag. Natural	6,6	0,81	-	0,97
$M_R = K_1 \cdot \sigma_d^{k_2}$	2	ARC	14,1	0,59	-	0,54
		Ag. Natural	14,0	0,60	-	0,49
$M_R = K_1 \cdot \sigma_c^{k_2} \sigma_d^{k_3}$	3	ARC	8,5	0,74	0,01	0,99
		Ag. Natural	5,5	0,75	0,01	0,98
$M_R = K_1 \cdot p_a \cdot (\theta/p_a)^{k_2} \cdot (\tau_{oct}/p_a + 1)^{k_3}$	4	ARC	956,2	0,99	-0,91	0,99
		Ag. Natural	816,5	1,03	-0,63	0,98

No tocante aos parâmetros de regressão do modelo composto, formulação muito empregada no Brasil, observa-se que o ARC e o agregado natural apresentam valores de K₂ bem maiores que os K₃. Isto já era esperado, uma vez que os módulos de resiliência de materiais de graduação grossa, arenosa, são mais influenciados pela tensão de confinamento do que pela tensão desvio. Para ilustrar essa situação, apresenta-se na Figura 4 a representação tridimensional do modelo composto para o ARC.

**Figura 4:** Representação tridimensional do modelo composto para o ARC

A Figura 5 ilustra a variação do MR com a tensão confinante, equação 4.1. Esta representação foi utilizada tendo-se em vista que este modelo apresentou elevados valores de correlação e também pelo fato de permitir uma visualização bidimensional do problema.

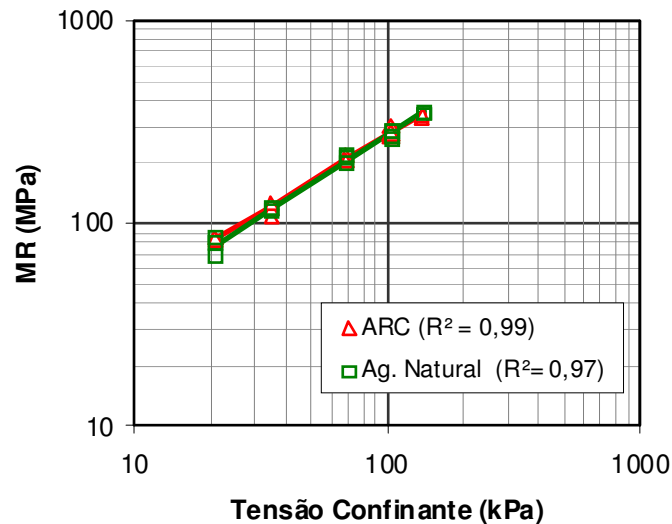


Figura 5: Variação do MR com a tensão de confinamento para os agregados

Analisando-se a Figura 5, verifica-se que o agregado reciclado de concreto e o agregado natural apresentam módulos de resiliência praticamente iguais. Além disso, observa-se que com a variação da menor tensão para a maior tensão confinante empregadas no ensaio triaxial cíclico, ou seja, de 20,7 kPa para 137,9 kPa, respectivamente, o módulo de resiliência médio dos agregados pesquisados aumenta em 270 MPa, variando de 80 MPa para 350 MPa.

Com o objetivo de facilitar a comparação dos resultados e também de apresentar uma aplicação prática, calculou-se a partir do modelo composto, o módulo de resiliência dos agregados para o centro da camada de base de uma estrutura de pavimento hipotética. Supôs-se um carregamento composto por duas rodas do eixo padrão, distantes entre si em 30 cm, com raio de carregamento igual 10,8 cm. A Figura 6 ilustra a estrutura considerada, enquanto a Tabela 6 apresenta suas principais características.

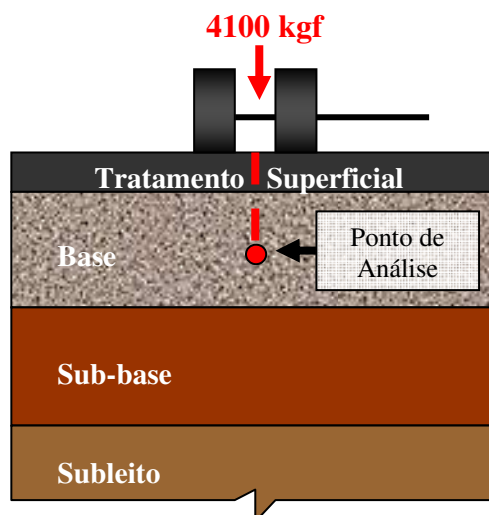


Figura 6: Estrutura de pavimento hipotética considerada na análise do MR

Tabela 6: Características da estrutura de pavimento hipotética

Camada	Espessura	Coefficiente de Poisson (ν)	MR (MPa)
Tratamento Superficial	2,5 cm	0,4	1500
Base	15,0 cm	0,35	-
Sub-base	15,0 cm	0,35	90
Subleito	Semi-infinito	0,35	45

A análise do módulo de resiliência foi realizada através do programa computacional ELSYM 5 por meio de um processo iterativo de cálculo. Ao final desse procedimento, obteve-se para o ARC o módulo de resiliência de 226 MPa e para o agregado natural o MR de 218 MPa. Assim, constata-se que o comportamento resiliente do agregado reciclado de concreto proveniente de São Carlos é muito próximo ao observado para o material convencionalmente empregado na construção de camadas de base e sub-base de pavimentos da região.

5. CONCLUSÕES

Para os materiais estudados e situações consideradas nesta pesquisa, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

O agregado reciclado de concreto, em comparação com o agregado natural, apresentou maior absorção de água, menor densidade aparente e maior desgaste ao ensaio de abrasão Los Angeles.

Com base nos ensaios de lixiviação e solubilização, o agregado reciclado de concreto foi classificado como pertencente à Classe II-A, ou seja, material não inerte e não perigoso. Entretanto, acredita-se que esse fato não deva ser considerado como um limitante de sua utilização em pavimentação. Observa-se que diversos materiais empregados na construção de camadas de pavimentos podem ser considerados como não inertes, tais como: cimento, cal, emulsão asfáltica, etc. Salienta-se que até mesmo alguns solos tropicais são classificados, com base nos limites propostos na norma NBR 10004, como não inertes

No tocante à compactação, o agregado reciclado de concreto apresentou uma menor massa específica seca máxima e uma maior umidade ótima que o agregado natural. Esse fato já era esperado em função de sua maior absorção por água e menor densidade aparente

No que se refere à capacidade de suporte, o agregado reciclado de concreto apresentou um elevado valor de CBR na umidade ótima, cerca de 170%, bem acima dos valores mínimos especificados pela norma NBR 15115/04 para o emprego de agregados reciclados em camadas de sub-base e base de pavimentos. Além disso, observa-se que o valor encontrado nesta pesquisa está em conformidade com os valores encontrados nas referências bibliográficas consultadas. Segundo FHWA (1997), o CBR típico do ARC varia entre 94% a 148%. Já de acordo com Saeed, Hammons e Reed (2007), este parâmetro varia entre de 94% a 184%.

Em relação ao comportamento mecânico, o agregado reciclado de concreto apresentou valores de módulo de resiliência praticamente iguais aos determinados para o agregado natural para todos os níveis de tensão. Considerando-se o centro da camada de base de uma estrutura de pavimento hipotética, observa-se que os agregados apresentaram valores de módulo de resiliência de aproximadamente 220 MPa.

De forma geral, os resultados desta pesquisa indicam que a utilização de agregados reciclados de concreto na construção de camadas de base e sub-base de pavimentos pode ser uma interessante alternativa ao emprego de agregados naturais.

Por fim, destaca-se que essa forma de reciclagem pode estender a vida útil dos aterros pela diminuição da deposição dos resíduos de construção civil e, também, pode minimizar a exploração de jazidas minerais pela substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Assim, mitigando os impactos ambientais, e conseqüentemente promovendo o desenvolvimento sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CAPES pela bolsa de mestrado do primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO, S. C. (2005). *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos*. 2005. 167 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- AASHTO T 307-99 (1999). *Standard Method of Test for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials*, 1999.
- ABNT (1984a). *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984b). *NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004a). *NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004b). *NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004c). *NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004d). *NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- DNER (1994). *ME 049/94: Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1997a). *PRO 120/97: Coleta de amostras de agregados*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1997b). *ES 303/97: Pavimentação – base estabilizada granulometricamente*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1998a). *ME 035/98: Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1998b). *ME 081/98: Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo*.
- EC (2000). *Management of construction and demolition waste*. Disponível em: <ec.europa.eu/enterprise/environment/index_home/waste_management/constr_dem_waste_000404.pdf>. Acesso em: 04 de ago. 2008.
- EPA (1998). *Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States*. Disponível em: <<http://www.p2pays.org/ref/02/01095.pdf>>. Acesso em: 04 de ago. 2008.
- FERNANDES, C. G. (2004). *Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação*. 2004. 109p. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ). Rio de Janeiro, 2004.
- FHWA (1997). *Report nº FHWA-RD-97-148 – User Guidelines for Waste and By-Product Materials in Pavement Construction* <<http://www.rmrc.unh.edu/resources/cd/userguide/begin.htm>>. Acesso em: 04 de ago. 2008.
- FHWA (2004). *Transportation Applications of Recycled Concrete Aggregate. FHWA State of the Practice National Review September 2004* <<http://www.rmrc.unh.edu/resources/pandd/rcareport/rcareport.pdf>>. Acesso em: 04 de ago. 2008.

- RAO, A.; JHA, K.; MISRA, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. Resources, *Conservation and Recycling*, no 50, p. 71–81, 2007.
- SAEED, A; HAMMONS, M. I.; REED, J. L. (2007). Comprehensive Evaluation, Design, and Construction Techniques for Airfield Recycled Concrete Aggregate as Unbound Base. In: *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*. Washington DC, United States, 2007. 16p.

David Christian Regis Pereira Grubba (grubba@sc.usp.br);
Alexandre Benetti Parreira (parreira@usp.br);
Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Transportes.
Avenida Trabalhador São-carlense, 400 – CEP 13.566-590 – São Carlos/SP, Brasil.